



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

RIZIKA SPALOVÁNÍ ODPADŮ V DOMOVNÍCH KOTLECH

RISK OF WASTE COMBUSTION IN SMALL BOILERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Eliška Kopecká

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Lisý, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Studentka: **Eliška Kopecká**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Martin Lisý, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Rizika spalování odpadů v domovních kotlech

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zejména prohořivací a odhořivací kotle s ručním přikládáním umožňují spalovat celou řadu domovních odpadů (PET, boty, plasty, atd.). Podmínky spalování v těchto zařízeních však zdaleka nejsou ideální a jsou potenciálním zdrojem celé řady nebezpečných emisí. Proto je třeba důkladně analyzovat tyto emise a zabránit spotřebitelům spalovat tento odpad v domovních kotlech.

Práce bude zaměřena na rešerši publikovaných zdrojů produkce emisí při spalování odpadů v domovních kotlech

Cíle bakalářské práce:

Zpracovat rešerši palivových vlastností domovního odpadu.
Zpracovat rešerši polutantů ze spalování odpadů.
Zpracovat rešerši spalování odpadů v domovních kotlech.

Seznam doporučené literatury:

BUDAJ, Florian. Parní kotle: podklady pro tepelný výpočet. 4. přeprac. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1992. Učební texty vysokých škol.

DLOUHÝ, Tomáš. Výpočty kotlů a spalinových výměníků. Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02591-8.

ČERNÝ, Václav, Břetislav JANEBA a Jiří TEYSSLER. Parní kotle. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1983. Technický průvodce.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou spalování odpadu v domovních kotlech. V první kapitole jsou blíže specifikovány složky domovního odpadu, také produkce a možné nakládání s odpadem. Druhá kapitola je zaměřena na vznik znečišťujících látek – polutantů při spalování a jejich dopad na životní prostředí (ŽP) a lidský organismus. Ve třetí kapitole je představen proces fungování spalovny odpadů a jsou zde zmíněny limitní hodnoty emisí, které jsou uvolňovány do ovzduší. Kapitola čtvrtá se formou rešerše zabývá důvodem vzniku a porovnáním znečišťujících látek vznikajících při spalování v domovních kotlech. Jsou zde popsány materiály definované jako domovní odpad a polutanty, které se z nich při spalování uvolňují. V závěru jsou zhodnoceny výsledky práce.

Klíčová slova

spalování, domovní odpad, polutanty, domovní kotel

Abstract

The bachelor's thesis deals with the issue of waste combustion in small boilers. In the first chapter, the components of household waste are specified in more detail, as well as the production and possible waste management. The second chapter is focused on the formation of the pollutants during combustion and their impact on the environment and the human organism. In the third chapter is presented the process of the operation of the waste incinerator and there are mentioned the limit values of the emissions that are released into the air. The fourth chapter deals with the reason for the origin and the comparison of the pollutants arising from combustion in small boilers. Materials defined as household waste and pollutants released from them during incineration are described here. In the end, the results of the thesis are evaluated.

Key words

combustion, household waste, pollutants, small boiler

Bibliografická citace

KOPECKÁ, Eliška. *Rizika spalování odpadů v domovních kotlech*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124533>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Martin Lisý.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Rizika spalování odpadu v domovních kotlech vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně 26.6.2020

.....
Datum

.....
Jméno a příjmení

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu své bakalářské práce Ing. Martinu Lisému, Ph.D. za jeho vstřícnost, ochotu, cenné rady a připomínky při psaní závěrečné práce. Také bych chtěla poděkovat Ing. Jiřímu Horákovi, Ph.D. za poskytnutí materiálů k tvorbě této práce.

OBSAH

ÚVOD	11
1 SYSTÉM ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ	12
1.1 Pojem odpad	12
1.2 Domovní odpad	13
1.3 Produkce odpadu	14
1.4 Nakládání s odpadem.....	15
2 POLUTANTY	17
2.1 Definice	17
2.2 Polutanty (látky) ze spalování	17
2.2.1 Oxid uhelnatý.....	17
2.2.2 Oxid siřičitý	18
2.2.3 Oxidy dusíku.....	18
2.2.4 Těžké kovy.....	19
2.2.5 Tuhé znečišťující látky.....	22
2.2.6 Perzistentní organické polutanty.....	23
2.3 Osud POPs v prostředí.....	25
2.4 Vliv POPs na lidský organismus	26
3 SPALOVNY.....	28
3.1 Pojem spalovna.....	28
3.2 Emisní limity spalovny.....	29
3.3 Proces spalování odpadu	30
4 DOMOVNÍ KOTLE	34
4.1 Teplovodní kotle na tuhá paliva s ručním přikládáním	34
4.2 Rizika spalování v domovních kotlech.....	36
4.2.1 Dokonalé a nedokonalé spalování	38
4.2.2 Znečišťující látky z domovního odpadu	39
4.3 Emise a jejich porovnání	41
4.3.1 Emise kotle s vhodným palivem.....	41
4.3.2 Porovnání emisí různých typů kotlů při spalování organické sloučeniny	42
4.3.3 Porovnání emisích hodnot PCDD/F.....	44
4.3.4 Dílčí závěr.....	46
ZÁVĚR.....	48

SEZNAM ZDROJŮ	49
---------------------	----

ÚVOD

Znečištění planety je problém, který se diskutuje napříč společnostmi. Hlavní snahou je udržení čistoty planety alespoň v současném stavu pro následující generace. Jedním z problémů je unikání znečišťujících látek do ovzduší. Zdroje znečišťujících látek vstupující do atmosféry mohou být přírodní (sopečná činnost, požáry...) nebo způsobené antropogenní činností (doprava, průmyslová výroba, zpracování odpadu). Jedním z antropogenních zdrojů je unikání znečišťujících látek při spalování v domovních kotlech. Především spalování odpadů přináší úskalí v podobě unikání škodlivých látek, avšak v procesu spalování ve spalovně odpadů dochází k dokonalému spalování a eliminaci škodlivin kvalitním čištěním spalin dle zákonem stanovených limitů, které jsou pravidelně kontrolovány.

Cílem této práce je zhodnotit rizika, která nastanou při spalování v domovních kotlech, zvláště při spalování domovního odpadu. Dále pojednat o složení domovních odpadů a znečišťujících látkách tzv. polutantech, které jsou v nich obsaženy a unikají z komínů malých spalovacích zařízení při spalování. Polutanty mají negativní vliv na ŽP (růst rostlin, způsobují kyselé deště,...) i lidské organismy (nádorová onemocnění, alergické reakce,...).

Spalování odpadů v domovním kotli přináší různá rizika ohrožení zdraví jedince škodlivými látkami. Spalování v domovním kotli umožňuje vyšší tvorbu a únik znečišťujících látek než při spalování odpadu ve spalovně odpadů. V domovním kotli není možné zajistit po celou dobu spalování podmínky kvalitního spalování. Nebezpečí vyšší tvorby škodlivých látek oproti spalovně nastává i při nedokonalém spalování fosilních paliv nebo dřeva.

1 SYSTÉM ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ

Odpadové hospodářství je dynamicky rozvíjející se oblast, do níž spadá mnoho činností:

- předcházení nebo alespoň omezení vzniku odpadu
- péče o místo, kde jsou odpady trvale uloženy
- kontrola činností s tím spojených [1,2].

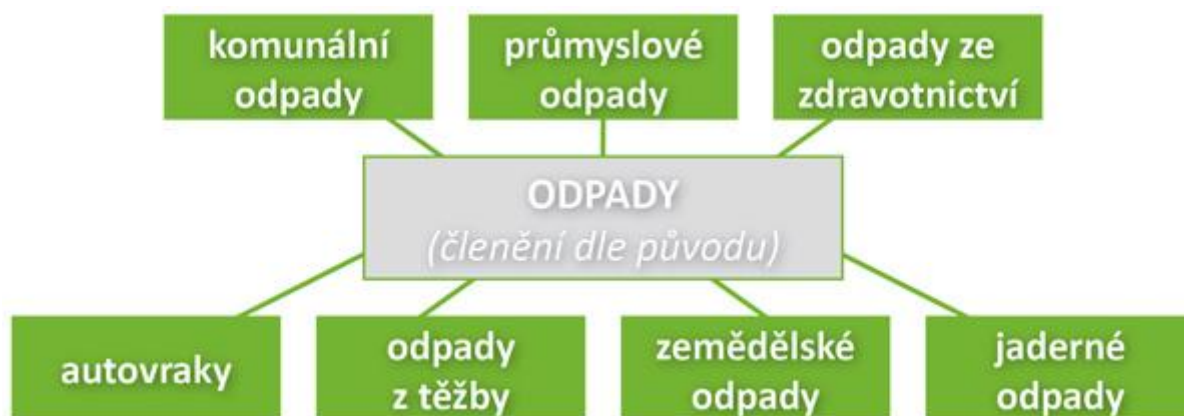
První zákon o odpadech vznikl v České republice v roce 1991 a v současnosti je základem zákon č. 185/2001 Sb., Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů. Tento zákon musí být v souladu s evropskou legislativou, proto byl již několikrát novelizován [1,2].

1.1 Pojem odpad

Z legislativního hlediska je pojem odpad podle Zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech definován následovně:

- (1) Odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit.
- (2) Ke zbavování se odpadu dochází vždy, kdy osoba předá movitou věc, k využití nebo k odstranění ve smyslu tohoto zákona nebo předá-li ji osobě oprávněné ke sběru nebo výkupu odpadů podle tohoto zákona bez ohledu na to, zda se jedná o bezúplatný nebo úplatný převod. Ke zbavování se odpadu dochází i tehdy, odstraní-li movitou věc osoba sama [3].

Odpady můžeme dělit dle jeho původu:



Obr. 1.1 Dělení odpadů [5]

Dále se zaměříme na komunální odpad, což je veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob, který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů, výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání [3, 4].

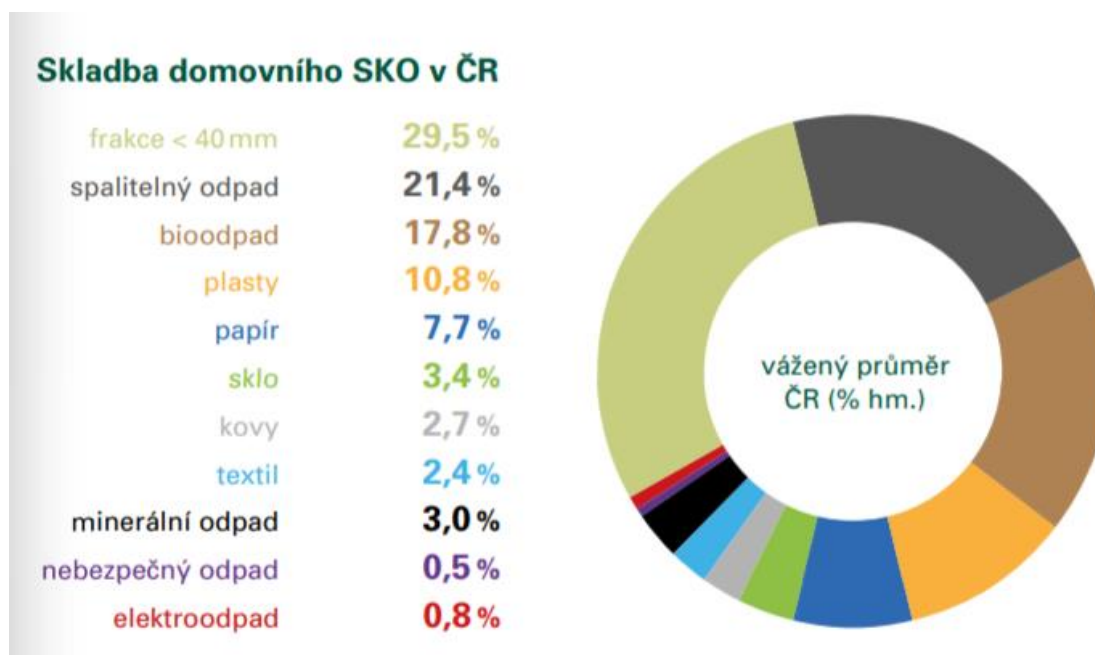
1.2 Domovní odpad

Zahrnuje tuhý odpad, který vzniká v domácnostech (papír, plasty, sklo, kovy), a také zbytky potravin a popel. Je to tedy odpad, který běžný občan odkládá do sběrných nádob. Pojem domovní odpad není definován zákonem ani normou. Po vytřídění lepenky a papíru, plastů, objemného a nebezpečného odpadu se pro něj používá název směsný odpad [4, 5].

Lze u něj provést kvalifikovaný odhad skladby domovního odpadu na základě ukazatelů uvedených v následující tabulce 1.1. Tyto hodnoty vychází z výzkumu z roku 2003 v rámci VaV/720/2/00. Můžeme srovnat s hodnotami v grafu 1.1, který zaznamenává hodnoty z roku 2017, ukazují na výraznější pokles výskytu skla v domovním odpadu a nárůst spalitelného odpadu a zbytkových frakcí [6].

Látková skupina	Podíl látkových skupin v odpadu (% hmotnostní), průměrné hodnoty			
	Sídlištní zástavba velkých měst	Sídlištní zástavba menších měst	Smíšená zástavba měst	Venkovská zástavba
Papír, lepenka	22,7	22,2	25,6	7,6
Plasty	13,8	16,8	18,0	9,0
Sklo	8,7	6,7	7,6	8,9
Kovy	3,4	3,0	3,1	4,5
Biodpad	18,2	19,6	17,3	6,3
Textil	5,6	6,6	5,1	2,2
Minerální odpad	1,9	0,8	2,3	4,0
Nebezpečný odpad	0,5	1,1	0,4	0,5
Spalitelný odpad	12,4	6,7	7,0	6,2
Zbytek 20-40 mm	3,1	8,4	5,4	5,0
Frakce 8-20 mm	6,6	5,1	3,8	8,9
Frakce menší 8 mm	3,1	3,0	4,4	36,9
<i>Celkem</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>

Tab. 1.1 Ukazatele skladby domovního odpadu (% hmotnostní) [6]



Graf 1.1 Skladba domovního odpadu [7]

1.3 Produkce odpadu

Při každé lidské činnosti vzniká odpad. Při těžbě a úpravě surovin, při výrobě zboží, při jeho dopravě a skladování. Po koupi výrobku se odpadem stávají obaly a nakonec (po skončení životnosti) se stává odpadem výrobek sám [5].

Produkci odpadu je nutné potlačit, nebo v ideálním případě předejít vzniku odpadu, avšak dle výsledků Českého statistického úřadu v tabulce 1.2 za roky 2008-2018 sledujeme pohyb kolem hodnoty 24–25 miliónů tun/rok. V roce 2018 se produkce vyšplhala přes hodnotu 28 miliónů tun/rok. Oproti předchozímu roku se vyprodukovalo o 3,4 mil. tun více, což představuje nárůst celkové produkce odpadu o 14 %. Stálý nárůst je u produkce komunálního odpadu, který se k roku 2018 vyšplhal skoro na 4 milióny tun/rok. Což v přepočtu na jednoho obyvatele činí 351 kg odpadu, to je o 8,5 kg více než v předchozím roce a skoro o 58 kg víc než v roce 2013, kdy byla zaznamenána nejnižší produkce v letech 2008–2018 [8, 9].

	Produkce odpadů celkem	Z toho komunální odpad
2008	25 868 519	3 175 934
2009	24 235 648	3 309 667
2010	24 123 560	3 334 240
2011	23 576 396	3 357 877
2012	23 435 996	3 232 643
2013	23 724 147	3 228 232
2014	23 788 925	3 260 581
2015	26 946 718	3 337 336
2016	25 757 793	3 579 614
2017	24 925 722	3 642 958
2018	28 353 238	3 732 219

Tab. 1.2 Produkce odpadů [8]

V tabulce 1.3 byly zaznamenány hodnoty produkce komunálního odpadu z let 2015–2018 v porovnání s rokem 2002. Ve většině složek komunálního odpadu je zaznamenán nárůst množství odpadu [10].

v t						Tonnes
	2002	2015	2016	2017	2018	
Produkce komunálních odpadů celkem	2 845 077	3 337 336	3 579 614	3 642 958	3 732 219	Municipal waste generation, total
z toho:						
běžný svoz	2 121 953	2 069 760	2 094 329	2 071 155	2 099 843	Standard waste collection
svoz objemného odpadu	290 186	308 607	348 138	365 487	392 542	Bulky waste collection
odpady z komunálních služeb	266 482	60 919	58 059	56 246	47 515	Waste from municipal services
odděleně sbírané složky	166 456	484 710	518 797	558 382	600 893	Waste components collected separately
z toho:						
papír	-	155 669	161 899	169 045	181 815	Paper
sklo	-	120 327	126 731	132 506	138 795	Glass
plasty	-	118 196	127 904	138 752	147 381	Plastics
kovy	-	29 857	27 057	32 923	42 846	Metals
z toho:						
biologicky rozložitelný odpad	-	1 647 194	1 817 338	1 868 060	1 906 549	Biodegradable waste

Tab. 1.3 Produkce komunálních odpadů [10]

1.4 Nakládání s odpadem

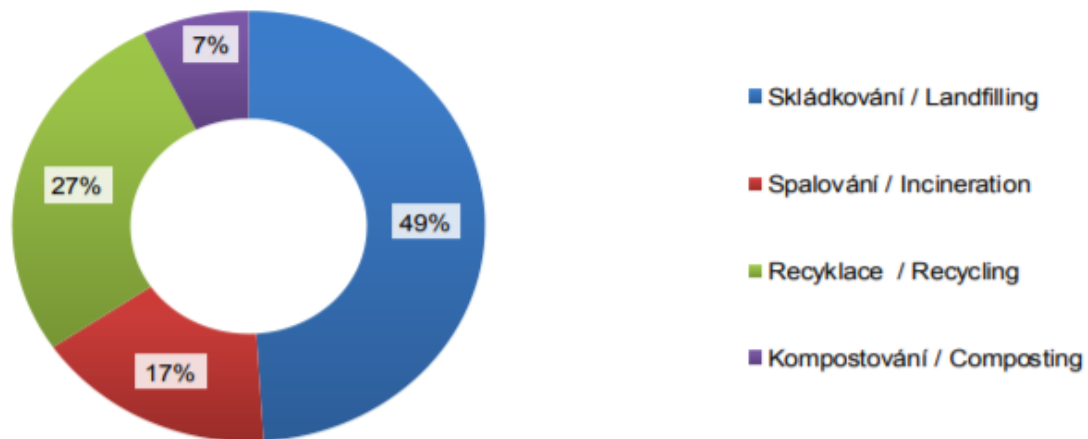
Se vzniklým odpadem se může zacházet různými způsoby, jedná se o recyklaci, hromadění odpadu na skládkách, spalování ve spalovnách, kompostování nebo opětovné použití.

Podle nové legislativy je důležité především zvýšit třídění a recyklaci odpadů se zamezením skládkování. K roku 2019 se v České republice recyklovalo 39 % komunálního odpadu, což je stále méně než bylo stanoveno v roce 2015. S tím také souvisí plnění povinných evropských cílů. Podle nich již v roce 2025 musí Česká republika recyklovat veškerý svůj komunální odpad z 55 % [11, 12, 13, 14].

Zákaz skládkování využitelných odpadů byl stanoven na rok 2024 po dohodě se Svazem měst a obcí ČR i Hospodářskou komorou ČR se posouvá na rok 2030. Důvodem pro odsun na rok 2030 je nová evropská legislativa, s níž má být ČR v souladu. Termíny evropské legislativy se posunuly a ministerstvo ŽP je posunulo také v ČR tak, aby se na významné omezení skládkování mohly obce i podnikatelské subjekty dostatečně připravit [12].

V grafu 1.2 je zobrazeno, jak se v České republice nakládalo se vzniklým odpadem v roce 2018. Skládkování zabíralo 49 % veškeré likvidace odpadu, což představovalo 1 828 236 tun odpadu odloženého na skládky. Druhý největší díl grafu (27 %) připadl na recyklaci, což odpovídá 1 014 946 tunám odpadu. Pouze 17% výše patří spalování, které v přepočtu na hmotnost představuje 617 239 tun odpadu. Nejmenší část grafu (7 %) náleží kompostování. V roce 2018 se zkompostovalo 272 797 tun odpadu, oproti roku 2015 se množství zvedlo skoro dvojnásobně. U prvních třech zmiňovaných lze oproti roku 2015 pozorovat slabý nárůst množství odpadu [10].

Graf 7 Nakládání s komunálními odpady v roce 2018
Municipal waste management; 2018



Graf 1.2 Nakládání s komunálními odpady v roce 2018 [10]

2 POLUTANTY

Tato kapitola je zaměřena na škodlivé látky, tzv. polutanty, které se dělí do dvou kategorií – primární a sekundární.

Primární polutanty jsou látky, které jsou do životního prostředí vypouštěné přímo z různých zdrojů. Jedná se například o vedlejší produkty spalování (oxid uhelnatý, oxid siřičitý, POPs,...). Zejména o těchto sloučeninách bude pojednáno v následující části [15, 16, 17].

Sekundární polutanty vznikají v životním prostředí účinkem fyzikálních dějů nebo chemickými reakcemi z primárních polutantů např. vznik troposférického O₃ fotochemickými reakcemi [15, 16].

2.1 Definice

Polutant je plynná, tekutá či pevná chemická látka, která je v určitých koncentracích a délece působení škodlivá a má nežádoucí vliv na živé organismy. Tato látka může vznikat antropogenní činností nebo přirozeným způsobem, ale antropogenní činností se může dostávat do ŽP, kde škodlivost závisí hlavně na množství, které se do dané oblasti ŽP dostane. Pokud polutanty vznikají pouze antropogenní činností, jsou nazývány jako tzv. xenobiotika [16, 18].

2.2 Polutanty (látky) ze spalování

Polutanty znečišťují všechny složky životního prostředí (vzduch, vodu i půdu) a jakákoliv lidská činnost je potenciálním zdrojem znečištění životního prostředí. Nyní se seznámíme s některými život ohrožujícími látkami, které mimo jiné vznikají i při spalování. Zvýšený obsah v emisích je zaznamenán při nesprávném topení či spalování nevhodných materiálů na místo paliva doporučeného výrobcem. Jedná se o CO, NO_x, SO₂, těžké kovy, tuhé znečišťující látky (TZL) a perzistentní organické polutanty (PAU a PCDD/F) [15, 16, 18].

2.2.1 Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý (CO) je hořlavý a prudce jedovatý bezbarvý plyn bez zápachu, je hlavním produktem nedokonalého spalování uhlíkatých paliv, biomasy a materiálů. Tvoří se za nedostatečného přívodu kyslíku při spalování [19].



K eliminaci vzniku CO je třeba zvýšit přísun kyslíku do spalovací komory. Dalšími faktory ovlivňující jeho vznik je nedostatečná teplota a krátká doba trvání v reakční zóně. Při spalování se užívá označení "3 T" – temperature, turbulence a time (viz. 4.2.1). Množství CO v emisích indikuje kvalitu spalovacího procesu. Malá spalovací zařízení nemohou všechny tyto nezbytné podmínky splnit dokonale [21].

Člověk je CO běžně vystaven vdechováním. CO v atmosféře není pro člověka nebezpečný, protože rychle reaguje s kyslíkem na CO₂. Běžná koncentrace oxidu uhelnatého v atmosféře je přibližně 0,1 ppm. (lokálně může vzrůst až na 50–100 ppm). Koncentrace CO při spalování

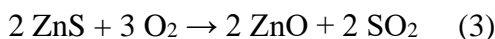
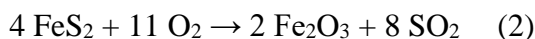
pevných uhlíkatých paliv v malých zařízeních může nabývat hodnot od několika desítek ppm v kvalitních malých spalovacích zařízeních až po několik tisíc v nevhodně provozovaných zařízeních starých konstrukcí [18, 19].

Toxicita je spojena především s navázáním oxidu uhelnatého na hemoglobin za vzniku karboxyhemoglobinu, který negativně ovlivňuje funkci krevního oběhu. V závislosti na množství přijatého CO se projevuje různými způsoby: ztmavnutím kůžemi, křečemi, kómatem a ve vyšších koncentracích způsobuje smrt. Riziková je zvýšená hladina CO především pro osoby s chronickými záněty dýchacích cest a osoby s nemocemi oběhové soustavy [18, 22, 23].

2.2.2 Oxid siřičitý

Oxid siřičitý (SO₂) patří mezi hlavní znečišťující součásti ovzduší. Převážná většina přichází do ovzduší antropogenní činností ze spalovacích procesů. Hlavním zdrojem je spalování fosilních paliv v průmyslu a domácnostech. Při spalování tuhých paliv asi 95% přítomné síry přechází na oxid siřičitý. U kapalných paliv je to prakticky celých 100 % [24].

Nejčastější způsob vzniku SO₂ je spalování paliv obsahující síru. Primárním zdrojem SO₂ je ze spalování uhlí, u kterého musí být síra předem odstraněna, aby se emise udržovali na přijatelné úrovni. Příkladem je spalování pyritu (FeS₂) nebo sfaleritu (ZnS)



případně jiných rud jako je třeba cinabarit (rumělka) HgS [25].

Síra nejvíce ohrožuje horní cesty dýchací, dráždí oční spojivky, zvyšuje únavu a může vyvolávat i poruchy vývoje organismů. U rostlin ochromuje dýchací procesy, zejména jehličnanů. Poškozuje buňky s chlorofylem, snižuje asimilaci a tím i produkci fotosyntézy. Značně také poškozují budovy a stavby tzv. kyselými dešti [18].

2.2.3 Oxidy dusíku

Emise oxidů dusíku (NO_x) se tvoří při spalování paliv. NO_x obsažené ve spalinách jsou složeny z oxidu dusnatého NO (asi 90 % z celkového množství NO_x) a oxidu dusičného NO₂ (asi 5 % z NO_x). Zbylé oxidy dusíky jsou zastoupeny jen v malé míře a často vznikají v interakci na NO a NO₂. tyto oxidy vznikají i při některých chemicko-technologických procesech (výroba kyseliny dusičné, amoniaku, hnojiv apod.). Zatímco při spalování paliv se podíl NO₂ v emisích NO_x pohybuje obvykle v intervalu do 5 %, u některých chemicko-technologických procesů může podíl NO₂ představovat až 100 % emisí NO_x [26, 27].

Spalování je proces, který může být ovlivněn různými faktory a tím je ovlivněna také tvorba NO_x, která přímo souvisí těmi to faktory. Jedná se o pět hlavních faktorů teplota a její rozložení v plameni, reakční doba, poměr vzduchu a paliva, složení paliva, konstrukční uspořádání ohniště (respektive hořáků) [26].

Existují tři možnosti vzniku emisí oxidu dusnatého:

- Palivové – NO vzniká v oblasti plamene, oxidací dusíku ze spalovacího plynu. Tvorba NO_x je ovlivněna přebytkem vzduchu, koncentrací dusíku v prchavém podílu a slabě závisí na teplotě (Oxidace probíhá za teplot vyšších než 1100 °C). Nejčastějším zdrojem NO_x jsou paliva obsahující dusíkaté látky. NO_x mohou tvořit až 50 % z celkové produkce oxidů u olejů a 80 % při spalování uhlí. Eliminovat emise lze použitím bezdusíkatých paliv.
- Termické (vysokoteplotní) – NO vzniká za vysokých teplot oxidací molekul dusíku (N₂) obsaženého ve spalovacím vzduchu (chemicky vázaného). Hlavní faktory, které ovlivňující vznik NO, jsou koncentrace atomárního kyslíku (vzniká disociací O₂) a dusíku, doba reakce při dané teplotě. Štěpením při teplotě vyšší než 1200 °C se tvoří vysoké množství oxidů. Čím vyšší koncentrace, doba reakce a teplota je, tím více oxidů dusíku vzniká. Emise lze snížit vhodným uspořádáním spalování.
- promptní (okamžitý) – NO vzniká na okraji plamene přeměnou molekulárního dusíku za účasti uhlovodíkových radikálů. Vyšší výskyt NO je produkován při přebytku vzduchu a při teplotě vyšší než 2000°C. Snížení emisí je obtížné, avšak obvykle není nutné. Jejich podíl je velmi malý [26, 28, 29].

Vznik NO₂ nastává při nižších teplotách než NO. NO₂ vzniká v důsledku prudkého ochlazení spalin, kdy teplota klesne pod 65 °C, pozitivní vliv na vznik NO₂ má dostatečný přísun kyslíku a dlouhá doba trvání [26].

Vysoké koncentrace oxidů dusíku inhibují růst rostlin. Oxidy dusíku společně s oxidy síry tvoří kyselé deště, které poškozují živé rostliny, půdu a také budovy. NO₂ společně s kyslíkem a těkavými organickými látkami (VOC) přispívá k tvorbě přízemního ozonu a vzniku tzv. fotochemického smogu. NO je také jedním ze skleníkových plynů (přispívá k tzv. skleníkovému efektu). Kumuluje se v atmosféře a s ostatními skleníkovými plyny absorbuje infračervené záření zemského povrchu. NO_x se váží na krevní barvivo a zhoršují tak přenos kyslíku z plic do tkání, to má negativní dopad na choroby srdce a dýchacího aparátu a vyvolává cyanózu (modrofialové zbarvení kůže v důsledku nedostatečného okysličení) [18, 29].

2.2.4 Těžké kovy

Jako těžké kovy bývají označovány kovy, jejichž měrná hmotnost je vyšší než 5 g.cm⁻³ (např. Cd, Hg, Pb). Toxické kovy jsou takové, které při určitých koncentracích působí nepříznivě na člověka případně i jiné biotické složky ekosystémů. Některé z kovů (esenciální) jsou však ve stopovém množství pro organismus nezbytné, většinou jsou součástí enzymů [18].

Při spalování mají kovy tendenci se vázat buďto na popílek a plynnou fázi (As, Cd, Hg, Pb) nebo se koncentrují v popelu (Cr, Fe, Mn). Pro ŽP jsou mnohem nebezpečnější těkavější látky (Cd, Hg atd.) a jejich oxidy a chloridy. Tyto látky aplikují mechanismus vypaření a následné kondenzace (viz. obr. 2.1), u látek vázaných v popelu se neuplatňuje tento mechanismus (existují pouze v pevné fázi) [30].

Kadmium

Kadmium je poměrně vzácný lehce tavitelný, kujný kov získávaný ze zinečnatých rud. I v malých dávkách je toxický. Kadmium není esenciálním prvkem, může však v biochemických strukturách organismu nahrazovat zinek a narušovat tak funkčnost některých enzymů [18, 30].

Kadmium se do prostředí dostává spalováním nekvalitního uhlí a olejů. Do těla nekuřáků se dostává především z potravy [18, 30].

Zasahuje do metabolismu cukrů a inhibuje vylučování inzulínu. Zejména poškozuje ledviny a reprodukční orgány (proniká placentou do těla nenarozeného plodu), vyvolává destrukci červených krvinek a způsobuje nádorové onemocnění dýchacích cest (zánět plicního epitelu a plicní edém) a prostaty [18, 30, 31].

Chrom

Chrom ve formě kationtu Cr^{3+} patří mezi esenciální prvky, avšak v oxidované formě Cr^{VI} je kation klasifikován jako silně toxická látka. Sloučeniny chromu ve VI. oxidačním stupni jsou karcinogenní (rakovina plic a nosu) i mutagenní, poškozuji játra a ledviny a způsobují vnitřní krvácení [18].

Chrom se dostává do ovzduší v prachových částicích uvolňovaných při spalování fosilních paliv (ve stavu Cr^{3+}). Dalšími zdroji jsou spalovny komunálních odpadů, odkud se může uvolňovat i při nakládání s odpady s obsahem chromu (komunální odpad, odpadní kaly, odpady z pokovování a zpracování chromu). Depozicemi se dostává do ostatních složek ŽP [32].

Rtuť

Rtuť je kovový prvek, který se za normální teploty vyskytuje v kapalném stavu, který se významně podílí na kontaminaci ŽP. Často se považuje za nejtoxičtější kov [18, 33, 34].

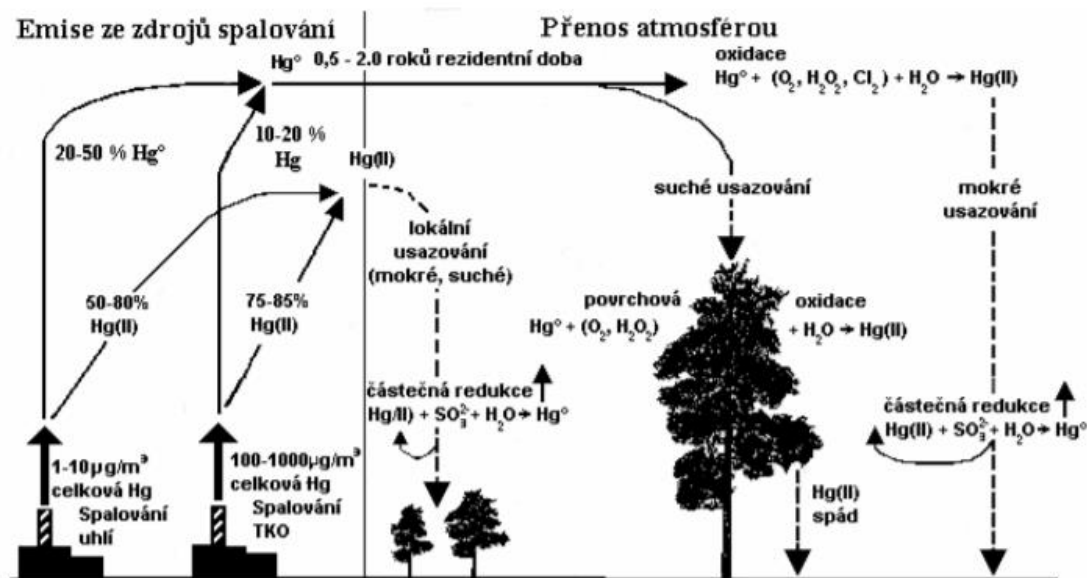
Z celkové produkce rtuti antropogenní zdroje představují asi 30 % emisí rtuti vstupující ročně do atmosféry. Emise rtuti se do prostředí dostávají ze spalování černého uhlí, dřeva a odpadu, ať již průmyslově nebo v domácnostech. Paliva obsahují malá množství rtuti a při jejich spalování kvůli její stabilitě je neopomenutelnou hrozbou. Rtuť se také uvolňuje z některých průmyslových výrob [34, 35].

Během spalování uhlí dochází při teplotách 700-800 °C k tepelnému rozkladu sloučenin rtuti za vzniku spalín s obsahem elementární rtuti Hg^0 . Nepatrné množství rtuti se zachytí v ložovém popelu (2 % až 4 % z celkového množství rtuti ve spalínách). Po ochlazení spalín na 200-250 °C velká část rtuti oxiduje s halogenovými složkami na HgCl_2 , popř. na Hg_2Cl_2 , HgBr . Rtuť z velké části zkondenzuje, nebo je zachycena na povrchu úletového popela, zbývající podíl je pak emitován do atmosféry [36].

Rtuť se ve spalínách vyskytuje ve formě Hg^0 nebo jako oxidovaná forma Hg^{2+} (resp. HgCl_2 , HgO ...). Forma výskytu rtuti ve spalínách ovlivňuje podíl zachycené rtuti ve spalovacím zařízení. Oxidovaná forma Hg^{2+} může být odstraněna současně s SO_3 (při mokřím nebo suchém

odsířování spalin). Naproti tomu Hg^0 se odstraňuje velice obtížně (obsah Hg^0 v uhlí je 20 až 50 % a 10 až 20 % v KO) [36].

Geochemický cyklus rtuti transportované do atmosféry ze spalování uhlí a tuhých komunálních odpadů (TKO) je znázorněn na obr. 2.1 tzv. vypaření a následná kondenzace [36].



Obr. 2.1 Geochemický cyklus rtuti atmosférou [36]

Snížení emisí rtuti ve spalinách lze dosáhnout omezením spalování paliv s obsahem rtuti, nebo jej nahradit palivem s menším obsahem rtuti [34]. V roce 2017 vstoupila v platnost tzv. Minamatská úmluva, jejímž cílem výrazně omezit úniky rtuti do ŽP [33].

Stabilita a toxicita rtuti představuje vážné ohrožení ještě ve vzdálenosti 100 km od zdroje [37]. Emise mají vliv na kvalitu ovzduší. Zhoršená kvalita se projeví výskytem alergií a astmatickými problémy [38]. Nejvýznamnějším způsobem, jak se rtuť dostává do lidského organismu je trávicím traktem a dýcháním. Hlavním zdrojem z potravin jsou mořské plody (hlavně dravé ryby) a vnitřnosti [35]. Rtuť se vyznačuje velmi silnou afinitou k síře. Proto se pevně váže na thiolové skupiny bílkovin, včetně enzymů, nebo na hemoglobin. Vazba rtuti na buněčné membrány může inhibovat aktivní transport živin, zejména cukrů. Rtuť se v lidském organismu koncentruje v ledvinách, játrech a slezině a negativně ovlivňuje jejich funkci. Při chronických intoxikacích metylrtutí (organokovová sloučenina) dochází k intoxikaci lidského plodu (především v mozku a v červených krvinkách). Poškozuje i nervovou soustavu [31, 37, 39].

Selen

Ačkoli se selen řadí mezi polokovy, z hlediska svého působení bývá přiřazen k těžkým kovům. Selen se tvoří při spalování fosilních paliv a komunálního odpadu [18].

Selen patří mezi esenciální prvky. Jeho přítomnost snižuje toxicitu kadmia, rtuti, metylrtuti a dalších látek. Jedná se o antagonismus¹. Nedostatek selenu v organismu zvyšuje riziko onemocnění oběhové soustavy, rakoviny a snižuje plodnost. Vyšší dávky selenu působí toxicky, ale otravy u lidí nejsou běžné. Otrava vyvolává různé dermatitidy, poškozuje nehty, vlasy a zuby, dráždí kůži, oči a horní cesty dýchací a zasahuje centrální nervový systém [18, 22].

2.2.5 Tuhé znečišťující látky

Tuhé znečišťující látky (TZL) jsou běžnou součástí atmosféry. Jejich množství velmi ovlivňuje hodnotu kvality ovzduší. Vznikají jak přírodními procesy, tak i antropogenní činností [21, 40].

Pod pojmem TZL jsou obsaženy různé formy, dle vzniku se dělí na prach, popílek, kouř a dým. Pod pojmem prach jsou označovány částice vznikající při mechanických operacích (drcení, mletí atd.) a sopečnou činností. Částicemi vznikajícími při spalování tuhých paliv je označován popílek. Kouř obsahuje částice produkované při spalování organických látek bohatých na uhlík. Dým je definován jako jemné tuhé i kapalné částice vytvářející se kondenzací a tuhnutím par látek [40].

Jedním z důležitých kritérií z hlediska zdravotního působení aerosolu (heterogenní směs jemných pevných nebo kapalných částic v plynném prostředí – dým atd.) na člověka a na ŽP je rozměr částic. Byly definovány skupiny označované PM_x, konkrétní skupina obsahuje částice o aerodynamickém průměru (určuje schopnost pronikání do organismu) menší než je hodnota x μm. Obvykle se rozlišují jako PM₁₀ a PM_{2,5} a v poslední době se hovoří i o PM₁ [21, 40, 41].

TZL vznikají zejména při spalování pevných fosilních paliv a biomasy. TZL mohou být definovány jako uhlík, kouř, saze a popílek. Klasifikují se do dvou skupin:

1. skupina – Částice se tvoří v počátečních fázích (sušení a hoření prchavé hořlaviny při nedokonalém spalování). Jedná se v první řadě o saze a organické látky, z plynných prekurzorů přes krystalizační a kondenzační procesy. Jejich množství lze ovlivnit řízením spalovacího procesu.
2. skupina – Představuje částice popela, který se uvolňuje ve fázích hoření fixního uhlíku. Jedná o látky tvořené z oxidů a solí, těžkých kovů a nespáleného uhlíku. Tyto látky jsou obsaženy v minerálních složkách v palivu. Vliv na množství těchto látek má druh paliva. [21]

Pro správný návrh odlučovacího procesu je důležitý tvar, velikost a zrnitost částic [40].

TZL se do organismu dostávají dýcháním. Dle jejich velikosti se zachytávají v různých částech dýchacích cest (nejmenší pomohou proniknout až do krve). Částice mohou mimo jiné obsahovat karcinogenní a mutagenní sloučeniny, pro které jsou nosiči. Dlouhodobý pobyt v prašném prostředí netoxického prachu, ovlivňuje funkci především dýchacího systému. Dalšími důsledky jsou kardiovaskulární nemoci či rakovina (plic) [21, 40].

¹ Jev, kdy důsledek působení dvou (nebo více) látek je slabší než součet důsledků působení každé látky zvlášť.

2.2.6 Perzistentní organické polutanty

Následující dva zástupci se řadí do skupiny persistentních organických polutantů (POPs). Jsou to organické látky, které vykazují toxické vlastnosti, jsou persistentní a bioakumulují se. Dochází u nich k dálkovému přenosu v ovzduší (přesahujícím hranice států) a k depozicím. Je u nich pravděpodobný významný škodlivý vliv na lidské zdraví a škodlivé účinky na životní prostředí [18, 42].

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU nebo PAHs)

Polycyklické aromatické uhlovodíky obsahující v molekule nejméně 2 kondenzovaná benzenová jádra, PAU s více jak třemi aromatickými jádry jsou odolné vůči biodegradaci. Jsou špatně rozpustné ve vodě, ale snadno v tucích a olejích. Patří mezi nejzávažnější polutanty životního prostředí. Produkty jejich přeměn (např. epoxy sloučeniny) mohou být ještě toxičtější než původní uhlovodíky. Epoxidy jsou výchozí surovinou pro výrobu epoxidových pryskyřic. Všeobecně jsou považovány za mutageny [15, 18, 43].

Vysoké množství PAU vzniká antropogenní činností. Nedokonalým hořením v domácích i průmyslových topeništích a ve spalovnách, při nedokonalém hoření organických látek obsahující uhlík (doprava, elektrárny, cigaretový kouř apod.) a při spalování všech druhů uhlíkatých paliv, dalším zdrojem jsou koksárny a výrobní sazí [18, 43].

PAU vznikají v důsledku vlivu člověka probíhá ve dvou fázích.

- První fází je pyrolýza tj. tepelný rozklad za nepřístupu vzduchu při teplotách nad 400 °C.
- Druhou fází je pyrosyntéza (400 až 800 °C).

Při pyrolýze vznikají jednodušší látky, radikály, které se v následující pyrosyntéze seskupují do složitějších celků. PAU následně kondenzují se na sazích a jiných pevných nosičích a dostávají se tak do atmosféry [18]. Dokonalá pyrolýza a spalování uhlíkatých paliv vede k rozbití velkých organických sloučenin na menší a v konečné fázi na CO₂. Dokonalá pyrolýza je však možná jen vzácně [21].

Pro účely sledování v Integrovaném registru znečišťování se PAU měří 4 PAU tj. benzo(a)pyren, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten a indeno(1,2,3-c, d)pyren [43, 44].

Člověk může být PAU vystaven vdechnutím, požitím i kožním kontaktem. Nekuřáci přijímají PAU většinou potravou, konzumováním masa upraveného uzením, smažením nebo grilováním. PAU poškozují imunitní systém a reprodukční funkce a také mohou ohrozit vývoj zdravého plodu. Při metabolické detoxikaci produkují sekundární karcinogeny (nádorové onemocnění plic, trávicího traktu nebo kůže). Jsou také prokázány mutagenní a teratogenní účinky. U pokusných zvířat bylo prokázáno snížení plodnosti a vývojové vady [15, 18, 43].

Dioxiny a furany

Jedná se o organické sloučeniny obsahující kromě atomů uhlíku, vodíku a kyslíku také chlór. Dioxiny a furany je obvyklé označení pro polychlorované dibenzo-p-dioxiny (PCDD) (dioxiny), kterých existuje 75 izomerů a polychlorované dibenzofurany (PCDF) (furany), kterých existuje 135 izomerů. Furany mají podobné účinky, ale oproti dioxinům slabší [18, 42, 45].

Dioxiny nemají žádný užitek a nikdy nebyly cíleně vyráběny. PCDD/F vznikají jako nežádoucí vedlejší produkty ve spalovacích procesech. Tvoří se jen ve stopovém množství při spalování komunálního, nemocničního a nebezpečného odpadu, hlavně při spalování organických látek obsahujících chlor (materiály z PVC, PCB). PCDD/F jsou též produkovány při spalování uhlí (obsah Cl zde může být až 1600 mg/kg suchého paliva dle [44]), rašeliny a dřeva (přibližně 100 mg/kg suchého dřeva dle [44]). Vznikají i při průmyslové výrobě, která má co dočinění s chlórem (chemický, textilní, papírenský průmysl) [15, 18, 42, 45].

Množství emisí je velmi závislé na podmínkách, za kterých probíhá ochlazování plyných produktů spalování a na množství uhlíku, chloru, kyslíku a katalyzátorů dostupných k reakcím.

Formování probíhá pomocí dvou mechanismů:

- tzv. syntézy de-novo – PCDD/F zde vznikají z neextrahovatelných uhlíkatých struktur, které se zásadně liší od konečných produktů (PCDD/F).
- Prekurzory formování/reakcí přes arylové skelostruktury odvozené buď z nedokonalé aromatické oxidace nebo cyklizace uhlovodíkových zbytků [21].

Pro dokonalé spalování musí být splněny 3 podmínky tzv. "3 T" – teplota, turbulence a čas (viz. 4.2.1). Nutné k zabránění reformace PCDD/F je rychlé ochlazení spalín po ukončení spalovacího procesu. Vznik PCDD/F ovlivňují tyto faktory: technologie (pomalé ochlazování), teplota (K reformacím dochází mezi teplotami 200 až 450 °C a k nejintenzivnějším kolem 300 °C), přítomnost kovů (katalyzátory), přítomnost síry a dusíku (inhibitory), přítomnost chloru (nutná podmínka vzniku PCDD/F) [21].

Likvidace dioxinů je velice náročná. Lze je spalovat za velmi vysoké teploty (nad 1200 °C), ale i pak dochází k tzv. syntéze de-novo [45, 46].

Chemicky i tepelně jsou dioxiny stabilní, UV a denní světlo na ně nepůsobí. Za nejtoxičtější působící látku vytvořenou člověkem je pokládán 2,3,7,8 tetrachlodibenzo-p-dioxin, zkráceně 2,3,7,8-PCDD. Často bývá pod pojmem dioxin uváděna pouze tato látka [18, 45].

Pro člověka představuje největší riziko konzumace kontaminované potravy [45]. Dioxiny se dobře váží na tukovou tkáň, k jejich bioakumulaci tak dochází hlavně u živočichů. Dlouhodobé působení dioxinů v těle vede k poškození imunitního, hormonálního a nervového systému, také ke změnám endokrinního systému (př. štítné žlázy) a dále také k poškození reprodukčních funkcí živočichů i člověka. Byl prokázán karcinogenní a teratogenní účinek pro řadu pokusných zvířat, pro člověka zatím ne [15, 18, 42, 45].

Uvádí se letální dávka PCDD/F s padesátiprocentní úmrtností je $LD_{50} = 600 \text{ ng/kg}$. Pro člověka o hmotnosti 70 kg to znamená množství 0,042 mg PCDD/F [18]. Je ale nutné zdůraznit, že běžně se vyskytující koncentrace dioxinů v životním prostředí jsou tak nízké, že nehrozí bezprostřední akutní ohrožení lidského zdraví [21].

2.3 Osud POPs v prostředí

POPs ovlivňuje všechny složky životního prostředí, v oblastech průmyslových i venkovských. V atmosféře mohou existovat v plynné i v pevné fázi.

Poločas rozpadu plyných PAU je z pravidla kratší než jeden den. V atmosféře od teploty cca 150°C začínají kondenzovat, váží se na prachové částice, s nimi klesají zpět na zem. V půdě je většina těchto látek jen málo pohyblivých, u některých převládá odpar zpět do ovzduší. Ve vodě se látky váží na sedimenty [43, 45].

PCDD/F jsou ve vodě téměř nerozpustné a usazují se v sedimentech na dně vodních ploch. V půdě jsou velice odolné proti vymývání a dalšímu transportu. Značné riziko to představuje pro krmné potraviny a následné požití dobyt看kem [21].

Z hlediska celkové zátěže prostředí je lépe provádět měření zátěže živočichů (PCDD/F se váží na tukovou tkáň) nežli například měření koncentrací v ovzduší, které jsou značně proměnlivé a vzhledem k vysoké náročnosti měření nemají takovou vypovídající hodnotu jako hladiny dioxinů zjištěné právě ve vzorcích živočichů anebo lidí [45].

POPs vstupují do prostředí z různých zdrojů, dochází tak k pronikání těchto látek do potravních řetězců, odkud je nejpravděpodobnější intoxikace lidského organismu. Jako příklad lze uvést spalování odpadu (pokud není odpad ze spalování ukládán na specializovaných skládkách), kdy může jednak docházet k úniku jejich emisí do ovzduší, pokud nejsou spalovny vybaveny odpovídajícími stupni čištění spalin; a jednak jsou vysoké koncentrace POPs vázány na povrchu částic popílku [15].

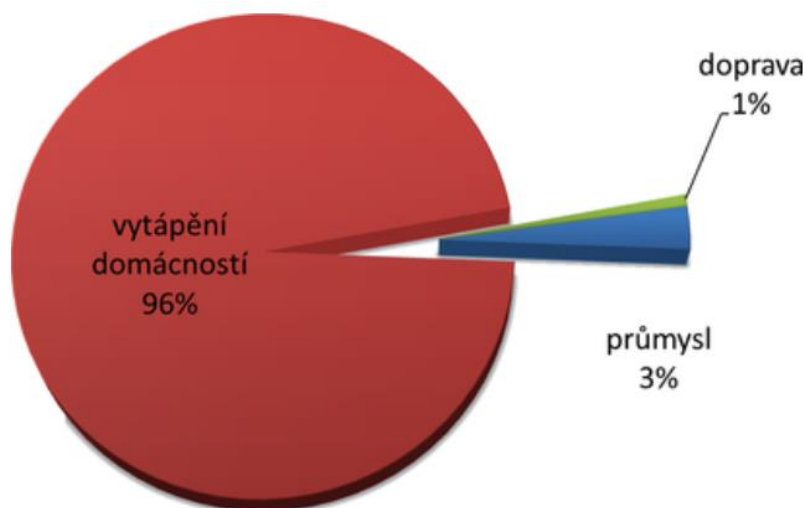
Výsledky monitoringu z roku 2004 ukázaly, že ve většině sledovaných měst byl překročen stanovený limit pro benzo(a)pyren (B(a)P) [43]. Emise B(a)P na jednu domácnost vytápěnou tuhými palivy jsou vyneseny do tabulky 2.1. Výsledky různých variantních bilancí emisí B(a)P z vytápění domácností jsou zaznamenány v tabulce 2.2. Spalování tuhých paliv zaujímá velký podíl v kontaminaci ovzduší suspendovanými tuhými částicemi (PM). PM řadí k nejrizikovějším látkám vznikajícím při spalování, obsahují PAU (B(a)P), PCDD/F a polychlorované bifenylly (PCB) [47]. Celková produkce B(a)P je znázorněna v grafu 2.1

	g B(a)P/rok
oficiální průměr	12
prohořivací kotle	24
odhořivací kotle	9,0
zplyňovací kotle	0,63
automatické kotle	0,09

Tab. 2.1 Emise B(a)P pro jednu domácnost [47]

	Kg B(a)P/rok
dle oficiální bilance	7 281
všechny domácnosti by používaly prohořivací kotle	14 863
všechny domácnosti by používaly odhořivací kotle	5 624
všechny domácnosti by používaly zplyňovací kotle	402
všechny domácnosti by používaly automatické kotle	57

Tab. 2.2 Emise B(a)P z vytápění domácností v ČR pro podmínky roku 2014 [47]



Graf 2.1 Podíly kategorií zdrojů na množství emisí B(a)P v roce 2014 pro Českou republiku [47]

Největší emise B(a)P jsou registrovány v pohraničí s Polskem v oblasti Moravskoslezského kraje. Problém zvýšených imisních koncentrací B(a)P je vždy umocněn konkrétními geomorfologickými poměry daného území a počtem inverzních dní. Velký vliv na vysoké emise může mít také přeshraniční přenos emisí [47].

2.4 Vliv POPs na lidský organismus

Cesty pronikání POPs do lidského organismu jsou různé, děje se dýcháním, požíváním potravy nebo kontaktem s pokožkou, nepředstavují okamžité ohrožení zdraví (akutní otravu), vše záleží množství přijaté látky. Účinky mohou být buď krátkodobé nebo dlouhodobé. Mezi krátkodobé dopady patří například zvýšení výskytu zánětlivých onemocnění plic. Dlouhodobé působení znečištěného vzduchu na člověka se projevuje zhoršením funkcí plic a zkrácením předpokládané délky života. Je však nutné zdůraznit, že působení POPs současné době nelze předpovědět na základě obsahu těchto látek v lidském organismu. Hranice propuknutí některé tzv. civilizační choroby je u každého jedince zcela individuální. V současné době se v organismu nachází i jiné, neméně škodlivé chemické látky [15, 17].

POPs mají spoustu škodlivých účinků na lidské zdraví. Hlavně dlouhodobé působení na lidský organismus může poškozovat vnitřní orgány (játra, ledviny, žaludek), imunitní, nervový a dýchací systém, působí na hladiny jaterních enzymů, způsobuje reprodukční poruchy (například poškození plodu, jeho sníženou hmotnost, spontánní potraty). Narušuje také hormonální rovnováhu [15].

Z dlouhodobých pokusů na zvířatech je možné získat údaje ohledně působení POPs. Vedou ke vzniku znetvořujících, těžko léčitelných vyrážek, tzv. chlorakné, působí fotosensibilizaci, mají negativní účinky na ledviny a játra. Z těchto studií je možné odhadnout průměrné denní dávky určité lidské populace a hodnotit riziko poškození zdraví této populace, tento údaj je však hrubým odhadem poskytujícím pouze všeobecnou informaci. Neexistují přímé důkazy o poškození zdraví u lidské populace při vystavování obvyklým denním dávkám [15, 43].

Dalším problémem je také minimum informací o synergických účincích více různých POPs přítomných v organismu vedle sebe, případně jejich spolupůsobení s dalšími chemickými látkami a tyto látky jsou v reálném prostředí nejčastěji přítomny v podobě komplikovaných směsí [15].

PAU

K nejzávažnějším vlivům PAU patří jejich karcinogenita. Rakovinnotvornost PAU na člověka byla prokázána u cigaretového kouře či sazí. Nejznámější z kancerogenních PAU je benzo(a)pyren, u kterého byl objasněn i mechanismus, kterým přímo poškozuje genetickou informaci buněk. Benzo(a)pyren je spolu s ostatními PAU přítomen v kouři ze spalování uhlí, dřeva, ve výfukových plynech a v cigaretovém kouři. PAU jsou zde přítomny ve formě velmi jemných částic, které pronikají při vdechnutí až do plicních sklípků, kde se zachycují. Přítomnost PAU je hlavní příčinou vzniku nádorového onemocnění plic. PAU přijaté s potravou působí rakovinu zažívacího traktu a v případě kožního kontaktu rakovinu kůže [43].

PCDD/F

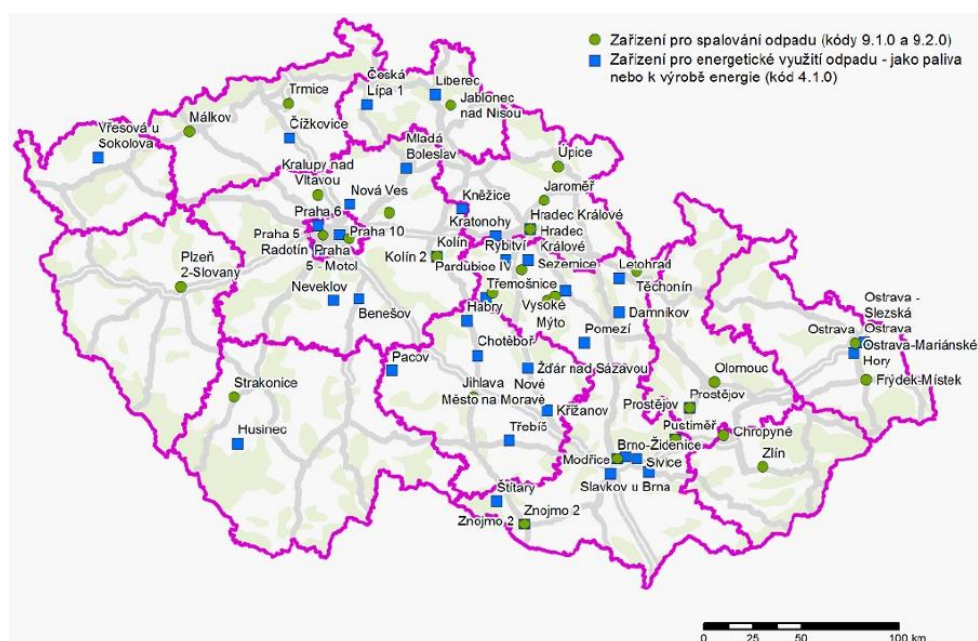
PCDD/F se dostávají do lidské potravy prostřednictvím potravních řetězců, přičemž k nejvýznamnějším patří cesta přes vodní ekosystémy do rybího masa a tuku. Dalším významným vstupem PCDD/F do potravin je z hovězího dobytka, do které se dioxiny dostávají depozicí z ovzduší nebo požitím kontaminované potravy. Nejvíce kontaminovanými potravinami a krmivy jsou rybí maso, tuk a moučka [18, 45].

Některé studie prokázaly také jejich vliv na snížení inteligence, snížení schopnosti soustředění a vliv na chování (hyperaktivita u dětí). Jsou to látky, které se dlouhodobě kumulují v těle [45].

3 SPALOVNY

Tato kapitola bude věnována hlavně spalovnám odpadů, kde spalování slouží převážně k energetickému využití odpadu. Jedná se o tepelnou energii, která slouží k vytápění objektů (př. Centrální zásobování teplem ve městech), nebo je zdrojem pro výrobu páry a následné elektrické energie [48].

V tuzemsku se měsíčně spálí asi 77 tisíc tun odpadů, což představuje jen zlomek z celkové produkce odpadů. V současnosti existují v České republice čtyři spalovny odpadů, v Praze, v Brně, v Liberci a v Plzni. První spalovna byla postavena už v roce 1905 v Brně. Nejnovější je naopak spalovna v Chotíkově u Plzně z roku 2016. Lokalizace spaloven odpadů a zařízení pro energetické využití odpadu (ZEVO) v České republice je zobrazena na mapě obr. 3.1 [48, 49].



Obr. 3.1 Lokalizace spaloven odpadu a ZEVO v ČR [48]

3.1 Pojem spalovna

Spalovna je technické zařízení určené ke spalování odpadů. Jedná se o jednoduché a účinné řízení spalovacího procesu. Jedná se o kontrolovaný proces. Efektivní spalování odpadů vyžaduje dostatečně vysokou teplotu, dostatečnou dobu zdržení ve spalovací komoře a nepřetržitý pohyb odpadového lože tzv. "3 T" (viz 4.2.1). Zajišťuje dokonalé vyhoření odpadu až na anorganický inertní materiál – škváru [21, 49].

Nezanedbatelnou výhodou spalovny je redukce hmotnosti odpadu na 25 % původních hodnot a minimalizace objemu o 90 % původních hodnot (zmenšení objemu zdesetinásobí životnost skládky) [49].

ZEVO využívá uvolněné tepelné energie ze spalovacího procesu k výrobě tepelné a elektrické energie [49].

3.2 Emisní limity spalovny

Emisní limity vychází z vyhlášky o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší č. 415/2012 Sb. Pro spalovny odpadu je platná vyhláška 452/2017 Sb. [50].

(1) Specifické emisní limity pro spalovny odpadu a stavové a vztažné podmínky jsou stanoveny v bodu 1. části I přílohy č. 4 k této vyhlášce [50].

Emisní limity pro spalovny odpadu jsou vztaženy k celkové jmenovité kapacitě a na normální stavové podmínky a suchý plyn při referenčním obsahu kyslíku v odpadním plynu 11 %. Pro spalování odpadních olejů jsou emisní limity vztaženy k referenčnímu obsahu kyslíku v odpadním plynu 3 %. V případě jednorázového měření emisí látek uvedených v tabulce 3.2. se za emisní limit považují hodnoty denních průměrů [50]. V tabulce 3.1 jsou uvedeny emise měřené kontinuálně. Pro porovnání jsou v tabulce 3.3 zaznamenány hodnoty, kterých při běžném provozu dosahuje ZEVO Brno [49].

Graf 3.1 znázorňuje vzdušné emise, měřené kontinuálně, oxidu uhelnatého, oxidů dusíku, oxidů síry, chlorovodíku, nespálených organických látek jako TOC a prachu v ZEVO Malešice [51].

Znečišťující látka	Emisní limit [mg.m ⁻³]			
	Denní průměr	Půlhodinové průměry		10 min. průměr
		97 %	100 %	95 %
TZL	10	10	30	
NO _x	400 ²⁾ 200	200	400	
SO ₂	50	50	200	
TOC	10	10	20	
HCl	10	10	60	
HF	1	2	4	
CO	50		100	150

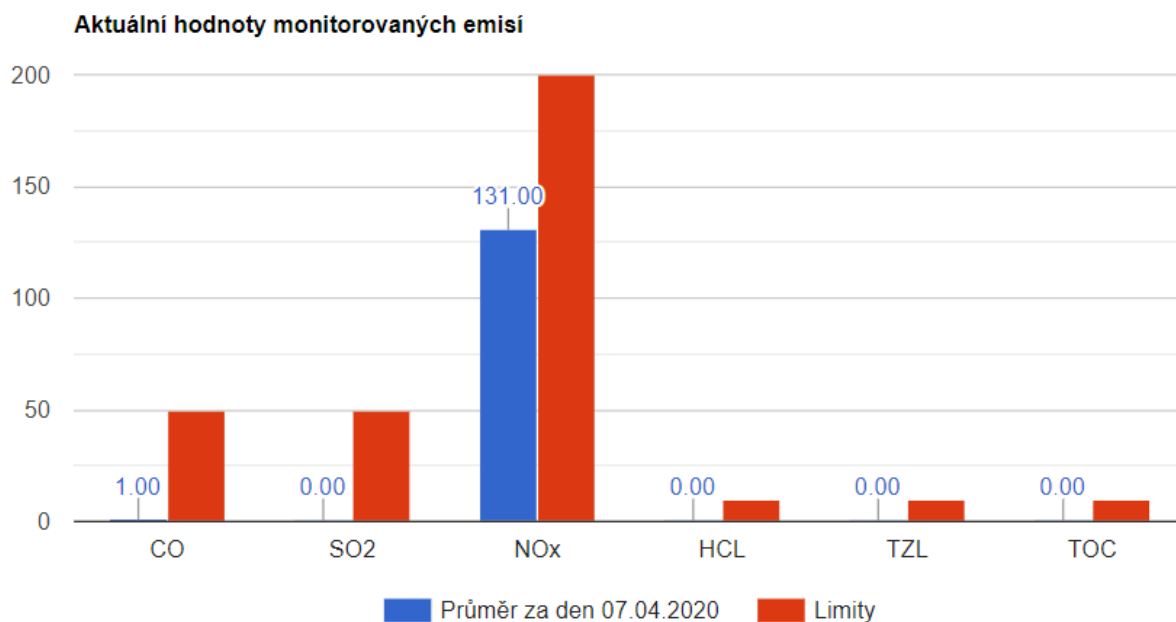
Tab. 3.1 Emisní limity pro znečišťující látky zjišťované primárně kontinuálním měřením [50]

Znečišťující látky	Emisní limit
Cd+Tl a jejich sloučeniny	0,05 mg.m ⁻³
Hg a její sloučeniny	0,05 mg.m ⁻³
SB+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V a jejich sloučeniny	0,5 mg.m ⁻³
PCDD/F	0,1 ngTEQ.m ⁻³

Tab. 3.2 Emisní limity pro znečišťující látky zjišťované primárně jednorázovým měřením [50]

Porovnání emisních limitů zařízení pro energetické využívání odpadů (ZEVO) Brno za rok 2019						
Emisní limity pro znečišťující látky	Vyhláška MŽP č. 415/2012 Sb. v platném znění	Integrované povolení (IP)	rok 2019 - validované hodnoty (mg/m ³)			Dosažená úroveň EL (IP)
zjišťované kontinuálním měřením (mg/m ³)	Denní průměr	Denní průměr	K2 průměrná denní hodnota	K3 průměrná denní hodnota	průměr K2 + K3	v %
TZL	10	8	0,2	0,2	0,2	2,5
TOC	10	8	1,3	0,4	0,85	10,6
SO _x jako SO ₂	50	50	20,4	20,9	20,7	41,3
NO jako NO ₂	200	200	180,6	181,5	181,1	90,5
NH ₃	50	50	2,1	1,1	1,6	3,2
CO	50	50	12,4	2,9	7,7	15,3
HCl	10	10	4,2	3,9	4,1	40,5
HF	1	0,8	0,0	0,1	0,1	6,3
Emisní limity pro znečišťující látky zjišťované jednorázovým měřením						
PCDD/PCDF	0,1	0,08	0,0039	0,0052	0,0046	5,7
Hg	0,05	0,05	0,00131	0,0089	0,0051	10,2
Cd, Tl	0,05	0,04	0,000035	0,000045	0,00004	0,1
Ostatní těžké kovy - Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V	0,5	0,4	0,006	0,008	0,0070	1,8

Tab. 3.3 Porovnání emisí ZEVO Brno za rok 2019 [49]

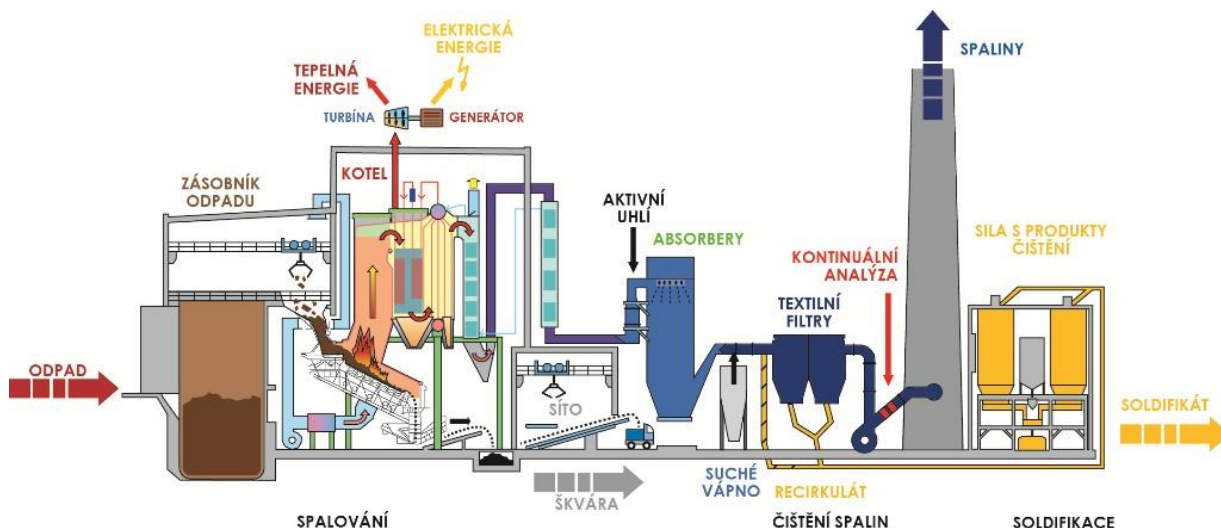


Graf 3.1 Aktuální hodnoty monitorovaných emisí v ZEVO Malešice [51]

3.3 Proces spalování odpadu

Protože není možné spalovat všechny dovezený odpad do spalovny, probíhá nejprve rozřídění každé várky. Odpad, který lze ještě využít, je určený k recyklaci, zbytek bude spálen ve spalovacím kotli. Při spalování odpadu krom už zmiňovaného tepla vzniká i popel nebo struska a také emise obsahující popílek. V moderních spalovnách se používají technologie, které zajistí účinné odloučení sledovaných škodlivin ze spalin, aby se do ovzduší dostávaly jen hodnoty emisí, které splňují zákonné normy [48, 49].

Spalovat lze různé druhy odpadu nejen běžný komunální odpad, ale také průmyslový a zdravotnický odpad nebo čistírenské kaly. Komunální odpad je spalován nízkoteplotně tj. při teplotách kolem 800 až 900°C. Ke spalování nebezpečných odpadů se používá vysokoteplotní spalování v rotačních cementových pecích při teplotách 1 200 až 1 500 °C [48]. Minimální doba zdržení spalin od dosažení této teploty je po dobu 2 sekund za posledním přívodem spalovacího vzduchu, jak uvádí směrnice [52].



Obr. 3.2 Schéma spalovny společnosti SAKO Brno a.s. [49]

Jako příklad fungování spalovny si uvedeme spalovnu SAKO Brno znázorněnou na obrázku 3.2. Ročně zpracovávají odpad od 1,5 milionu obyvatel a energeticky využívají více než 230 000 tun směsného komunálního odpadu. SAKO Brno funguje jako teplárna a elektrárna. Schéma technologie spalovny SAKO Brno je zaznamenáno na obr. 3.2 [49]. Kapacita spalování je 248 tis. tun odpadu za rok [53].

Popis technologie spalovny

Ve vstupní části se nachází vážní zařízení. Svozová vozidla všech dodavatelů odpadů a surovin se dostávají do spalovny přes váhovnu. Vážení je automatické a data jsou zpracovává speciálním software. Vozidla s odpadem při vjezdu do areálu ZEVO projíždí detekčním systémem, který kontroluje a je schopen odhalit zdroje ionizujícího záření. Je vedena evidence vstupů a výstupů do ZEVO. Zde se cesta přijímaných odpadů dělí na ty určené pro energetické využití a odpady na dotřídovací linku.

Po evidenci odpadu vozidlo se spalitelným odpadem zamíří k některým z osmi vsypových vrat. Zásobník slouží jako dočasné úložiště odpadu. Jeřáb s polypovým drapákem odebírá dovezený odpad od vstupních skluzů zásobníku a přemísťuje jej hlouběji. Nesourodý odpad je promícháván a tím je získána homogenizace odpadu a dále je plněn do násypek jednotlivých kotlů.

Kotelna je osazena dvěma kotli pětitařové koncepce s vratisuvnými rošty typu MARTIN, jejichž technické parametry a vzduchový režim zajistí optimální provozní podmínky procesu spalování odpadu. Odpad přiložený do kotle hoří sám a nepotřebuje další přídavné palivo.

Odpad prochází přes termicky odolný rošt fází zahřívání, vysoušení, zplyňování, hoření a dohoření.

Ve spalovací komoře kotle se teplota pohybuje nad hodnotou 1000°C.

Po spálení odpadu padá pevný podíl neboli škvára do mokrého vynašeče (zamezí prášení do okolí). Škvára se zde zchladí a přes vibrační třídič je pásovým dopravníkem dopravována do zásobníku škváry.

Přehřátá vodní pára prochází kondenzační turbínou s jedním regulovaným a jedním neregulovaným odběrem. Neregulovaný odběr je využit pro ohřátí a termické odplynění napájecí vody. Regulovaný odběr je primárně používán pro dodávky tepla do sítě CZT.

Horkovodní výměníková stanice (HVS) (má tepelný výkon 54 MW) byla postavena se změnou sítě centrálního zásobování teplem města Brna z páry na horkou vodu. HVS je sestavena ze čtyř vertikálních zaplavovacích ohříváků pára/voda, každý o jmenovitém výkonu 14 MW, a šesti horizontálních odstředivých čerpadel, ta zajišťují distribuci tepla k zákazníkům.

Podstatné je zajištění dostatečné zásoby napájecí vody, úkol chemické úpravy vody, o stanovených parametrech pro celý varný systém kotle. Napájecí voda vzniká hlavně vratným kondenzátem ze sítě CZT, čistým kondenzátem se vzduchem chlazeného kondenzátoru a vodou z chemické úpravy vody. Obsah solí v surové vodě je poměrně vysoký, bez její úpravy by došlo k zanesení varného systému kotle minerálními usazeninami i k poškození turbíny. Kyslík rozpuštěný ve vodě by se podílel významnou měrou na korozi varného systému kotle.

Součástí technologického procesu spalování odpadů je pěti stupňový systém čištění spalin.

- **První stupeň čištění spalin** je instalován přímo do spalovací komory kotle. Pomocí chemických reakcí je zajištěna výrazná redukce oxidů dusíku ve spalinách.
- **Druhý stupeň čištění spalin** je adsorbce těžkých kovů a POPs typu PCDD/F, PCB a PAU.
- **Třetí stupeň čištění spalin** jedná se o nástrík jemně rozprášené vodní vápenné suspenze do proudu spalin. Plynné spaliny z kotlů jsou přivedeny kouřovody do absorberů, kde probíhá čištění.
- **Čtvrtý stupeň čištění spalin** je instalován do kouřovodu mezi absorbery a textilní filtry. Tento stupeň je založen na suché vápenné metodě, spočívající v přidávání suchého haseného vápna do proudu spalin. V případě zvýšených koncentrací kyselých složek spalin se tento systém čištění spouští automaticky.
- **Pátým stupněm čištění spalin** jsou textilní filtry, které slouží k odloučení veškerých mechanických nečistot a pevných reakčních produktů.

Výsledný produkt z čištění spalin je složen z vápenatých solí, popílku, aktivního uhlí a přebytku reagentů. Celý proces čištění spalin je ovládán automaticky řídicím systémem tak, aby na výstupu byl zbytkový obsah sledovaných škodlivin nižší, než jsou přípustné emisní limity. Účinnost čištění spalin je u znečišťujících látek na úrovni 99 %. Před vstupem do komínu jsou spaliny (CO , SO_2 , $\text{NO}_x \dots$) kontinuálně měřeny a vyhodnocovány.

Škvárové hospodářství je koncovým článkem technologie, které dále upravuje škváru – odpadní inertní produkt spalovacího procesu. Po uložení ve škvárovém zásobníku jsou odseparovány kovy (železo a hliník), jako druhotné suroviny odváženy k dalšímu využití. Škvára je využívána pro technické zabezpečení skládek. Cílem společnosti je zajistit takové kvalitativní parametry škváry, aby bylo možné využívat škváru jako stavební materiál (zásypy, podsypy), a minimalizovat tak produkci odpadů [49].

4 DOMOVNÍ KOTLE

Nejdůležitější vlastností teplovodní prohořívající kotle na tuhá paliva pro kvalitnější spalování je jeho schopnost řízení spalovacího procesu, tj. kontrola nad přísunem paliva a spalovacího vzduchu do ohniště. Čím více je kotel sám schopen optimálně řídit tento proces bez zásahu obsluhy, tím vyšší má předpoklad k ideálnímu spalování paliva [54].

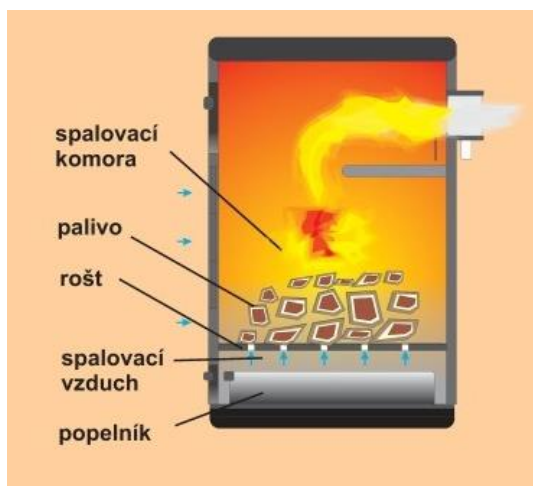
Čtvrtá kapitola se zabývá kotli s ručním přikládáním. Tyto kotle jsou mezi uživateli velmi oblíbené, poskytují možnost spálení čehokoli včetně domovního odpadu. Kotel je však uzpůsoben pouze pro pálení doporučeného paliva. Pálením nevhodných materiálů vznikají vyšší hodnoty emisí s nežádoucími látkami, které zatěžují ŽP a ohrožují život každého jedince [54]. Kotle se dělí na prohořívací, odhořívací a zplyňovací.

4.1 Teplovodní kotle na tuhá paliva s ručním přikládáním

Prohořívací kotle

Nejčastější domovní kotle jsou prohořívací s ručním přikládáním paliva a přirozeným přívodem spalovacího vzduchu [54].

Spalování v prohořívacích kotlích probíhá postupně. Palivo se do ohniště dodává přes horní nebo čelní nakládací dvířka. Je přidáváno na základní vrstvu, která leží na roštu. Po přiložení prochází fází ohřevu, sušení, zplynění (uvolnění prchavé hořlaviny) a hoření odplyněného zbytku paliva neboli uhlíku. Spalovací vzduch přichází přes rošt a následně spolu se vzniklými spalinami prochází přes celou vrstvu paliva (obr. 4.1). Spalování lze ovlivnit jen minimálně.



Obr. 4.1 Řez prohořívajícím kotlem [55]

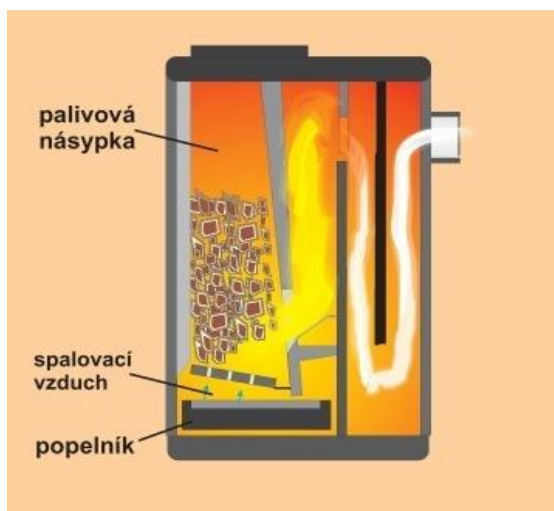
Výkon závisí na množství a kvalitě přikládaného paliva a velikosti komínového tahu (ovlivňuje množství vzduchu při spalování) [54, 55, 56]. Průběh spalování je u tohoto typu kotle periodický [55].

Tradičním zástupcem jsou litinové kotle, které byly primárně navrhovány pro spalování koksu. Jedná se o nejstarší a nejjednodušší konstrukci kotlů. To má za důsledek vyšší produkci škodlivých látek oproti novějším typům. Při spalování černého uhlí a dřeva se tyto kotle řadí do emisní třídy 2 [54, 55]. Tento typ kotlů je nyní na ústupu,

dle nastavených požadavků EU a od roku 2022 se již nemohou používat (viz. 4.3.1) [54].

Odhořívací kotle

Mezi starší typy kotlů patří také kotle odhořívací. Palivo se přikládá do zásobníku paliva (palivové násypky), který je umístěn nad ohništěm. Palivo postupně odhořívá ve spodní části násypky. Ve spalovací komoře (zóna vysokých teplot) spaliny procházejí jen částí paliva, což působí postupné uvolňování prchavé hořlaviny a její kvalitnější vyhoření. Kotel je vhodný



Obr. 4.2 schéma odhořívajícího kotle [55]

pro paliva s větším obsahem prchavé hořlaviny (př. hnědé uhlí) (obr.4.2) [54, 55, 56].

Průběh spalování je u tohoto typu kotle plynulejší než u prohořívajícího kotle díky postupnému sesypávání paliva na rošt, kde dochází k samotnému hoření. Výkon lze částečně ovlivnit termostatickým regulátorem tahu (ovládání příchodu vzduchu) [55].

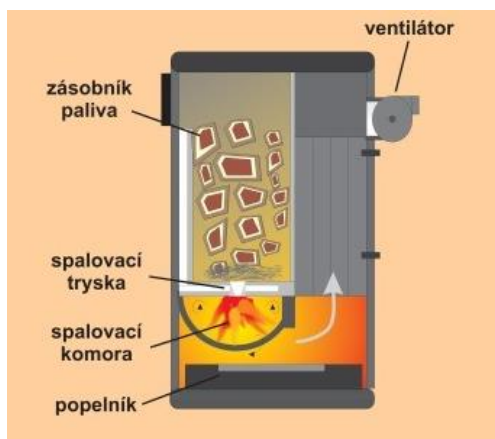
Novější kotle nově dosáhly certifikaci hodnot emisí třídy 3, takže budou moci být provozovány i po roce 2022. (více 4.3.1) [54].

Zplyňovací kotle

Jedná se o nejmodernější kotle s ručním přikládáním. Ve zplyňovacím kotli je dosaženo vyšší úrovně spalování díky řízenému přísunu spalovacího vzduchu ventilátorem, tím je do jisté míry eliminován vliv komínového tahu. Tento typ kotle je vhodný hlavně pro spalování kusového dřeva (obsahuje více jak 70 % prchavé hořlaviny) [54, 56].

V předchozích případech probíhá spalování tuhého paliva nejdříve ve fázi zplyňovací, kdy se tuhá hořlavina přemění na hořlavé plyny a po ní následuje fáze spalovací, ve které hořlavé plyny dohoří. U zplyňovacích kotlů jsou tyto dvě fáze od sebe prostorově odděleny, což umožňuje lepší řízení celého procesu a dosažení vysoké účinnosti spalování. Zplyňovací technologie vyjadřuje schopnost podstatně vyšší kontroly nad uvolňováním prchavé hořlaviny a nad jejím dokonalým vyhořením. U prohořívacích a odhořívacích kotlů však dochází ke zplynění nekontrolovatelně a část prchavé hořlaviny v některých fázích hoření opustí spalovací proces komínem bez využití [54, 57].

Palivo je vkládáno do zásobníku paliva, zde dochází k uvolňování prchavé hořlaviny. Prchavá hořlavina prochází skrz trysku (hořák) do spalovací komory. Spalovací komora je vytvořena



Obr. 4.3 schéma zplyňovacího kotle [55]

z žárobetonových tvarovek, což napomáhá kvalitnímu vyhoření prchavé hořlaviny. Spalovací vzduch je přiváděn nuceně pomocí spalínového ventilátoru (poměrné množství vzduchu jdoucí do trysky a do zásobníku paliva lze měnit) (obr. 4.3) [54, 55].

Míra přeměny energie paliva na teplo je u tohoto kotle vyšší (rovnoměrnější průběh spalovací periody) než u výše zmiňovaných kotlů, proto při stejné dávce paliva bude vyrobeno větší

množství tepla [56]. Kotle této technologie dosahují běžně emisní třídy 3, takže by neměl být problém s provozem po roce 2022 (viz. 4.3.1) [54].

4.2 Rizika spalování v domovních kotlech

Jedním z hlavních zdrojů aerosolových částic (směs pevných částic v plynu) jsou spalovací procesy. Nezanedbatelnými zástupci těchto zdrojů jsou malá spalovací zařízení (MSZ) využívaná k vytápění domácností [58].

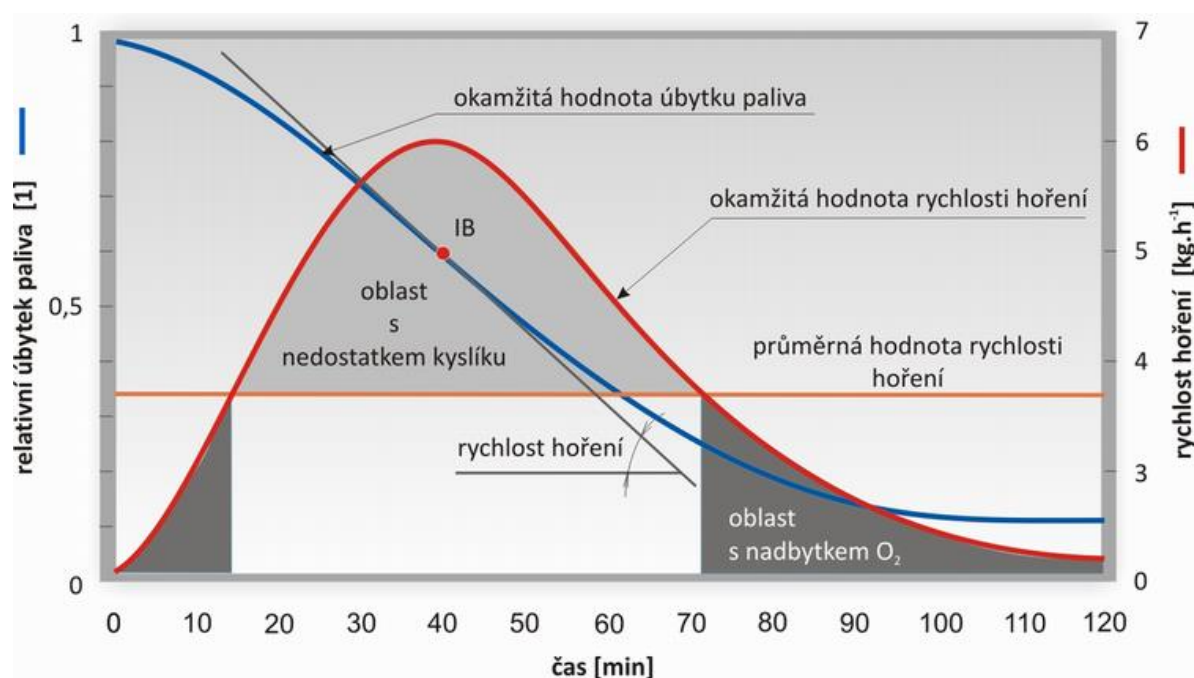
Teploty spalování v domovních kotlích nejsou tak vysoké a čištění spalin není tak dokonalé jako ve spalovnách. I samotným spalováním tuhých paliv lze dosáhnout nadměrné produkce škodlivých látek, proto spalování čehokoli jiného přináší obrovská rizika. Dle Ing. Jiřího Horáka, Ph.D. je zřejmé, že malá spalovací zařízení produkují nezanedbatelné množství znečišťujících látek. Odhady hovoří, že až třetina TZL připadá na vytápění v rodinných domech [57, 59].

Spalování tuhých paliv přináší do ovzduší mnohem více škodlivých látek oproti spalování např. zemním plynem. Starý kotel, nebo třeba i nově koupený kotel se zastaralou technologií může za topnou sezonu (4 až 5 měsíců) vypustit do ovzduší i stovky kilogramů prachu. Nepravidelné přikládání velkých dávek tuhého paliva, náhlé snížení výkonu plně naloženého kotle tzv. přidušením se omezí přívod vzduchu a dochází k nedokonalému spalování (viz. 4.2.1), je také nevhodné [57, 59].

Jedním z problémů domovních kotlů je nízká výška komínů, která způsobuje hromadění aerosolových částic v dýchací zóně obyvatel měst a obcí. [58].

Z experimentu provedeném na kotli s ručním přikládáním paliva popsáném ve zdroji [57] je uvedeno spalování 18 kg uhlí během 2 hodin. Výsledek byl zanesen do grafu 4.1, z něhož vidíme, že je velmi obtížné zajistit v dané chvíli potřebné množství vzduchu, proto je na začátku i konci přebytek vzduchu. Nejideálnější řešení (tj. v tomto případě s průměrnou spotřebou paliva 9 kg/hod) je přikládání každou 1 minutu 15dkg uhlí. Toho lze dosáhnout jen u moderních kotlů s kontinuálním přívodem paliva. Pro uživatele, kteří vlastní kotle s ručním přidáváním, je to nemožné [57].

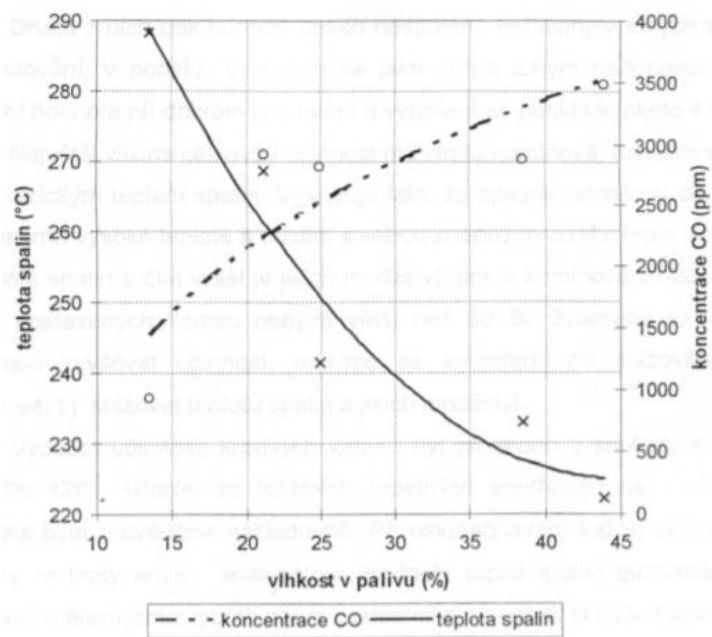
Při špatném spalování uhlí za nedostatku kyslíku (S se nezmění na SO_2) dochází k úniku sirovodíku, organických sulfidů a další sirnatých organických látek do prostoru na uhlí, kde se teprve mění na SO_2 , zde už není přítomno aditivum k odsiřování [57].



Graf 4.1 vyhořívání jedné dávky v ohništi [55]

Pokud se jedná o kotle s příkládkou dřeva. Pro spalovací proces je typický vysoký obsah hořlaviny. Ohniště proto musí být velkoobjemové, aby uvolněné hořlavé plyny v něm mohly co nejdokonaleji vyhořet. Pro spalování dřeva platí stejné principy, jako pro spalování uhlí. Avšak emisní koncentrace škodlivin ve fázi maximálního hoření budou nižší a svou skladbou celkově příznivější. Hlavním faktorem je, že dřevo neobsahuje síru. Na emisích se nejvíce projeví vlh-

kost dřeva, neboť voda v palivu snižuje teplotu při spalování, to podporuje produkci oxidu uhelnatého (obr. 4.4) a polyaromatických uhlovodíků, kde závislost roste skoro exponenciálně s rostoucí vlhkostí. Důležitým poznatek pro vytápění dřevem je, že dřevo by mělo obsahovat maximálně 20 % vody (vysušení trvá přibližně 1–2 roky), bude tím zajištěn nejen nižší vznik emisí, ale také menší spotřeba dřeva a větší výhřevnost až o 50 % [55, 57].

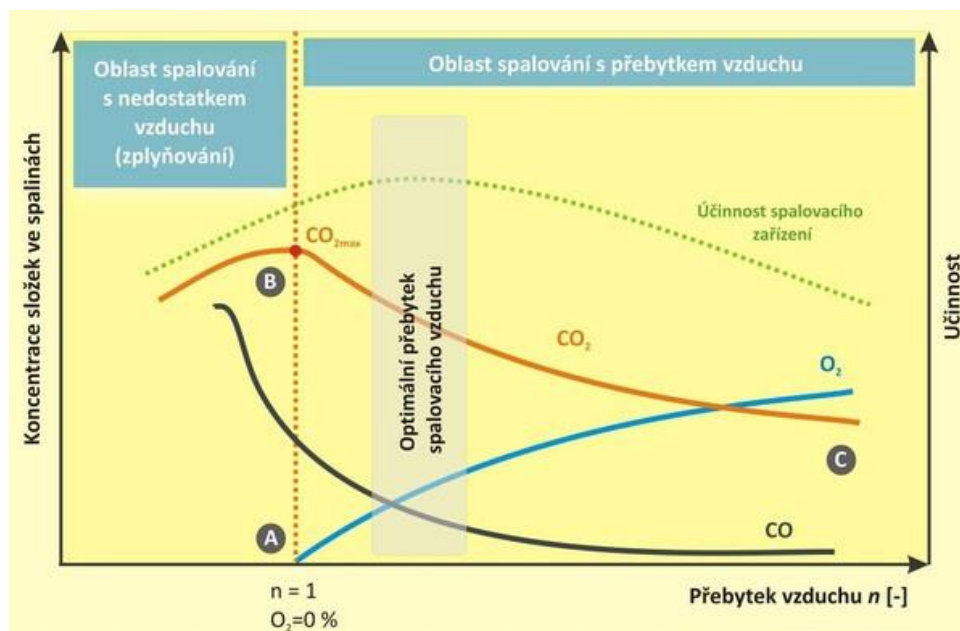


Obr. 4.4 vliv vlhkosti dřeva na produkci oxidu uhelnatého [57]

4.2.1 Dokonalé a nedokonalé spalování

Při dokonalém spalování dochází k oxidaci uhlíku na oxid uhličitý (H na H_2O a S na SO_2). Tento proces je podmíněn tzv. "3 T" – temperature (dostatečná teplota), turbulence (vhodné míchání vzduchu ve spalovací zóně) a time (dostatečná doba zdržení v dané oblasti teplot). Minimální množství vzduchu, lze vypočítat dle rovnic ze zdroje [20], je však pouze teoretické. V reálné procesu je potřeba 1,5 až 4násobně větší objem vzduchu (dle typu kotle), aby byla zajištěna vyšší pravděpodobnost přeměny všech prvků na příslušné sloučeniny. Jedná se tedy o spalování s přebytkem vzduchu [20, 21, 60].

Při zvyšujícím se přebytku kyslíku ovšem klesá teplota v ohništi a tím klesá kvalita spalování (obr 4.5). Dále také roste množství spalin a klesá účinnost kotle. Přívod vzduchu musí být nastaven na neoptimálnější hodnotu. Teplota vznikajících spalin při spalování uhlí se pohybuje od 800 až 1200 °C a u dřeva od 650 až 950 °C. Za provozu je přebytek spalovacího vzduchu měněn ovládáním přívodu vzduchu do ohniště [20, 60].



Obr. 4.5 Vliv přebytku spalovacího vzduchu na účinnost a kvalitu spalování [60]

V případě nedokonalého spalování, tedy při nedostatečném okysličení hořlavých prvků odpadu, nedochází k úplné oxidaci paliva až na konečné produkty, ale spaliny odcházející z prostoru spalování obsahují hořlavé složky. Produktem nedokonalého spalování je oxid uhelnatý a uhlík, který vůbec neshořel (černé saze, černý popel, popílek v komíně), polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) a tuhé znečišťující látky (TZL). V praxi je nedokonalé spalování nežádoucím jevem [20, 60].

Obsah vzduchu v topeništi ovlivňuje i tvorbu emisí NO_x . Doporučené množství spalovacího vzduchu vyjádřené pomocí součinitele přebytku vzduchu λ se běžně udává u roštových ohnišť v rozmezí 1,25 – 1,5. Záleží však také na druhu paliva a konstrukci spalovacího kotle [20].

Souhrnně je možné říci, že pokud se hořlavina s okysličovadlem setká, ale je vystavena nízké teplotě, k hoření nedojde, anebo dojde jen k nedokonalému částečnému hoření. Se zvyšující se teplotou, dostatečným časem, turbulencí a dostatečným přísunem spalovacího vzduchu se rychlost a kvalita spalování zlepšuje [23, 60].

K dosažení kvalitního spalování v domovním kotli byl sepsán následující seznam tzv. SMO-KEMANovo desatero správného topiče.

1. nebuď lhostejný k sobě ani ke svému okolí, zajímej se o to, co jde z Tvého komína
2. suš dřevo minimálně jeden až dva roky
3. nespaluj odpadky
4. nastav regulační klapky tak, aby vzduch mohl k palivu, oheň nedus
5. přikládej častěji menší dávku paliva než jednu velkou dávku za dlouhý čas
6. pravidelně čistí kotel a komín
7. používej moderní kotel či kamna
8. udržuj teplotu spalin za kotlem mezi 150 až 250 °C
9. nevyhazuj teplo oknem, nepřetápěj a top jen tam, kde potřebuješ
10. top tak, jak chceš, aby topil Tvůj soused [61]

4.2.2 Znečišťující látky z domovního odpadu

Domovní odpad sice v malých spalovacích zařízeních (MSZ) shoří, avšak nezmizí, přemění se na celou škálu škodlivých látek. I když odpadky mohou mít větší výhřevnost než palivo dokonalého spalování domovního odpadu nelze dosáhnout v domovním kotli. Toto palivo patří do spaloven odpadů, kde lze dosáhnout kvalitního spalování a čištění a s vysokou účinností využít teplo v nich obsažené [61].

Problém spalování domovního odpadu je mnohem složitější, nelze říct, že pokud bude spáleno 100 ks PET láhví, ohrozí to zdraví dvěma lidmi z tisíce. Vždy záleží na konkrétních podmínkách ve spalovacím zařízení [62]. Tyto hodnoty z experimentů zatím nebyly publikovány. Výzkumy probíhají na VŠT-Ostrava, avšak data ještě nebyla zveřejněna.

Znečišťující látky vznikají při spalování vždy, lze však ovlivnit množství, které závisí na mnoha faktorech ovlivňující kvalitě spalovacího procesu. U materiálů popsanych v této kapitole, bude upozorněno na nejškodlivější látky, které při spalování vznikají.

Plasty

Při spalování plastů vzniká nejvíce škodlivých látek. Plasty nejsou porézní materiál, proto je přístup kyslíku při hoření horší. V domovních kotlích dochází k nedokonalému hoření, zejména kvůli nedostatečnému množství vzduchu a nízké teplotě [62].

Polyvinylchlorid (PVC) je obsažen v podlahových krytinách, hadicích, ubrusech atd. Je to jediný plast na bázi chloru. Chlor se z něj uvolňuje při výrobě a používání i likvidaci. Hlavními látkami uvolňujícími se při spalování PVC jsou dioxiny, chlorovodík a PAU, ne méně nebezpečná jsou změkčovadla (tzv. ftaláty) a stabilizátory (těžké kovy – Cd a Pb), které se zachytí na popílků [63]. Množství dioxinů v emisích ze spalovaného materiálu v závislosti na obsahu PVC v něm ukazuje tabulka 4.1.

Obsah PVC ve spalovaném materiálu		0 %	0,2 %	1 %	7,5 %
Množství PCDD/F	Průměrné ng I-TEQ/kg paliva	14	80	200	4,900
	Rozmezí v ng I-TEQ/kg paliva	2–28	9–150	180–240	3,500–6,700

Tab. 4.1 Množství dioxinů v emisích v závislosti obsahu PVC ve spalném materiálu [46]

Spalováním plastových folií, sáčků, igelitových tašek obsahujících polypropylen (PE) a polyetylen (PP), který je zahrnut ve složení kelímků nebo textilních vláken, a PET láhví významně roste produkce PAU [64]. Při dokonalém spalování PET láhví vzniká pouze oxid uhličitý a voda [65].

Nevíce škodlivou látkou při spalování polystyrenu je tvorba jedovatého styrenu (aromatický uhlovodík). Z nápojových kartonů je při spalování zvýšená produkce chlororganických látek a těžkých kovů [64].

Další materiály

Pálením pneumatik (pryže, gumy...) vznikají polyaromatické uhlovodíky (PAU) a další jedovaté látky [64].

Při spalování natřených prken, dřevotřísky, nábytku či jiného chemicky ošetřeného dřeva dochází k uvolňování dioxinů (až 500x více než při použití palivového dřeva) a formaldehydu [64].

Celobarevné letáky a časopisy obsahují v tiskařských barvách těžké kovy, které se při spalování uvolňují do ovzduší [64].

Seznam nebezpečných složek komunálního odpadu je uveden ve vyhlášce č. 381/2001 Sb. Nebezpečný odpad (barvy, laky, rozpouštědla, kyseliny, zářivky a jiný odpad obsahující rtuť, baterie ...) je nutné odevzdat do specializovaného sběru, prošlé léky je možné bezplatně odevzdat v lékárně k likvidaci [64, 66].

V následující tabulce 4.2 je shrnut seznam materiálů a škodlivých látek, které se z nich uvolňují při spalování.

Druh odpadu	Škodlivé látky
PVC	Dioxiny, furany, chlororganické látky, fosgen, ftaláty, stabilizátory, polycyklické aromatické uhlovodíky
Plasty (PP, PE, PET)	Polycyklické aromatické uhlovodíky, aromatické uhlovodíky, oxid uhelnatý, těžké kovy (Cd, Zn)
Přez (včetně pneumatik)	Polycyklické aromatické uhlovodíky, oxidy síry
Nábytek, chemicky ošetřené dřevo	Dioxiny, furany, chlororganické látky (formaldehyd)
Dřevotřískas, koberce, tapety	Formaldehyd a další aldehydy
Polystyrén	Styren
Celobarevné letáky, časopisy, nápojové kartony	Těžké kovy
elektronika a staré baterie	Těžké kovy (hlavně Hg), bromované zpomalovače hoření
Organický odpad (listí, tráva ...)	Oxid uhelnatý
Umělé textilie – silon, nylon (PA)	PAU, Čpavek, kyanidovodík
Léky, barvy a lepidla	Aromatické uhlovodíky a další organické látky (benzen, toluen)
Staré matrace, čalouněný nábytek	Bromované zpomalovače hoření, kyanidovodík
Nebezpečné látky obsahující látky s obsahem Cl	Dioxiny, furany, chlororganické látky

Tab. 4.2 škodlivé látky uvolňující se ze spalování materiálu [65, 67]

4.3 Emise a jejich porovnání

4.3.1 Emise kotle s vhodným palivem

Následující tabulce 4.4 jsou zaznamenány průměrné emisní hodnoty, které vznikají při v různých kombinacích vytápění objektu, který má roční spotřebu tepla 80 GJ. Z tabulky je zřejmé, že nejvyšší emise jsou produkovány při spalování uhlí. Tyto emise zatěžují nejen životní prostředí, ale přispívají i ke skleníkovému efektu [65].

Palivo	Množství [t, tis m ³ /rok]	Výhřevnost [GJ/jedn]	Tuhé látky [kg/rok]	SO ₂ [kg/rok]	NO _x [kg/rok]	CO [kg/rok]	C _x H _y [kg/rok]	CO ₂ [kg/rok]
Zemní plyn	2,64	34,05	0,05	0	4,22	0,84	0,17	4994
Černé uhlí tříděné	6,3	25,47	73,33	70,62	9,45	283,5	56,07	14709
Hnědé uhlí tříděné	8	16,9	92,24	156,56	24	360	71,2	13520
Palivové dřevo - 20% vlhkosti	7,3	15,5	91,25	7,3	21,9	7,3	6,5	0

Tab. 4.4 Přehled spotřeby paliv a emise, které vznikají při jejich spalování v domácnostech [65]

Každý typ kotle do 500kW produkuje různé množství emisí, dle kterého se dělí do emisních tříd 1-5. V tabulce 4.5 je přehled k prodeji a provozu kotlů. Z ní vyplývá, že prohořívající kotle nelze používat od roku 2022 a také si od 1.1.2020 je možné zakoupit pouze kotel splňující požadavky dle EKODESIGN, což jsou zjednodušeně rozšířené požadavky pro emisní třídu 5. V ČR je však situace urychlená od roku 2015 v podobě možnosti využití „kotlíkových dotací“ na podporu výměny starších typů kotlů za kotle s klasifikací dle EKODESIG. [68]

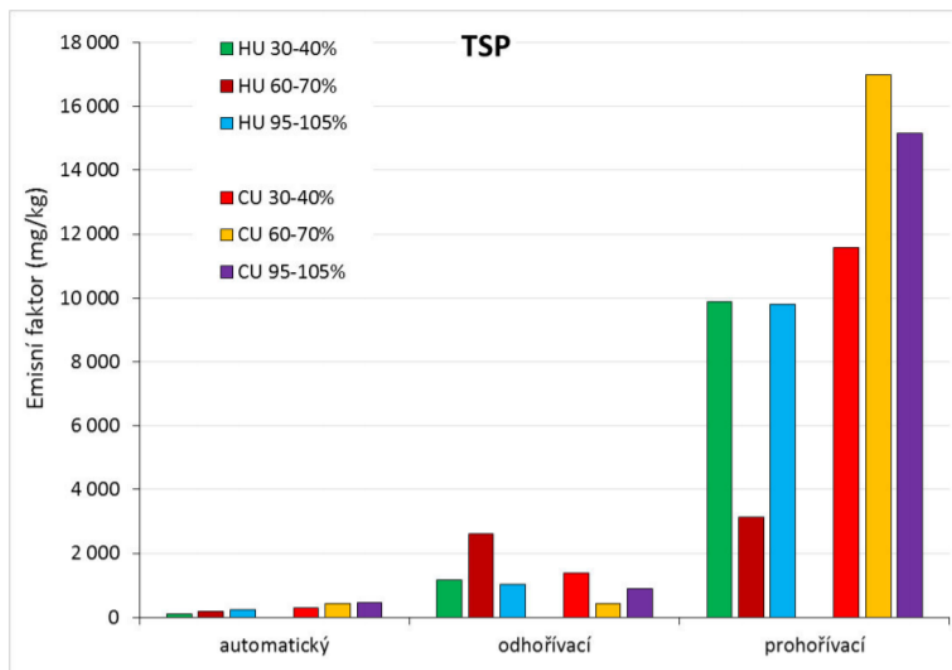
Platnost od	Popis nařízení
1. 1. 2014	Zákaz prodeje kotlů 1. a 2. emisní třídy (možnost legálně zakoupit a uvést do provozu pouze kotle 3., 4. a 5. emisní třídy)
1. 1. 2017	Povinnost na vyžádání předložit revizi kotle (včetně označení emisní třídy)
1. 1. 2018	Zákaz prodeje kotlů 3. emisní třídy (možnost legálně zakoupit a uvést do provozu pouze kotle 4. a 5. emisní třídy)
1. 1. 2020	Zákaz prodeje kotlů 4. a 5. emisní třídy (možnost legálně zakoupit a uvést do provozu pouze kotle splňující požadavky EKODESIGN) – pro celou EU
1. 9. 2022	1. 9. 2022 Zákaz používání kotlů 1. a 2. emisní třídy (bez ohledu na to, kdy byly pořízeny)

Tab. 4.5 Podmínky dle EKODESIGN [68]

4.3.2 Porovnání emisí různých typů kotlů při spalování organické sloučeniny

V experimentu provedeném ve zdroji [58] vyplývá, že stáří a typ kotle velmi negativně ovlivňují množství znečišťujících látek vstupujících do ovzduší z domovních kotlů. Nelze však říci, že emise závisí pouze na typu kotle, svůj podíl na emisích má také kvalita topiva.

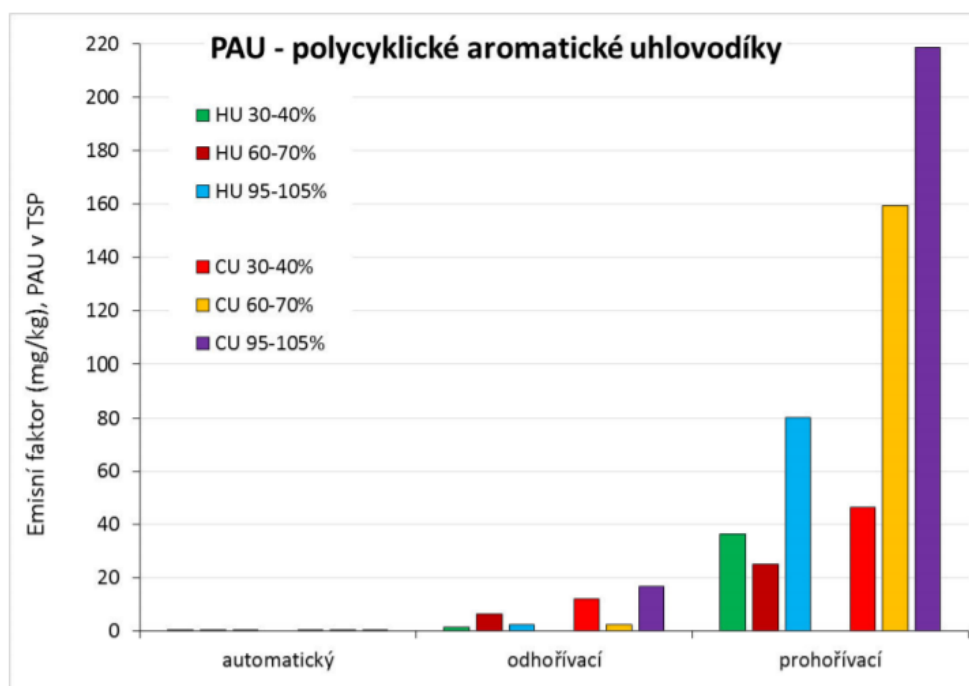
Emisní faktor TZL (v grafu 4.2 označovaný TSP) u prohořivacích kotlů na černé uhlí dosahuje hodnot až 17 001 mg/kg, při spalování hnědého uhlí byla maximální hodnota emisí 9 872 mg/kg [58].



Graf 4.2 Množství emisí TZL pro různé typy kotlů [58]

PAU vznikají především při nedokonalém spalování organického materiálu, avšak všechny poměry uváděné v literatuře jsou výsledkem dokonalého spalování paliv s dostatkem vzduchu. Cílem těchto experimentů bylo přiblížit se reálným emisím z domácností, proto bylo palivo spalováno v kotlích se jmenovitým (95-105 %) a se dvěma sníženými výkony (cca 30-40 % a 60-70 %) [58].

Nejvyšší hodnoty emisních faktorů pro PAU v TZL byly naměřeny při spalování černého uhlí až 219 mg/kg v prohořivacím kotli a nejnižší hodnoty byla 0,001 mg/kg v automatickém kotli. Z grafu 4.3 je jasně viditelné, že čím starší je typ kotle, tím mají emise vyšší hodnoty. Hlavním důvodem nízkých emisí v automatickém kotli je regulace přívodu vzduchu, tím je dosaženo kvalitnějšího spalování, nesmí však být opomenut vliv paliva [58]. Pro srovnání v tabulce 4.6 je zobrazeno množství PAU v jedné tuně paliva [44].



Graf 4.3 Množství emisí 4 PAU v TZL pro různé typy kotlů [58]

Typ zařízení	Hnědé uhlí	Černé uhlí	Dřevo
Prohořivací kotel	31,3	22,5	5,14
Odhořivací kotel	6,0	19,3	2,78
Automatický kotel	0,0258	0,0699	0,135
Zplyňovací kotel	-	-	0,498
Krbová kamna	-	-	0,151

Tab. 4.6 Měrné emise sumy 4 PAU v $g \cdot t^{-1}_{paliva}$ dle VEC [44]

4.3.3 Porovnání emisích hodnot PCDD/F

Porovnání emisí vyprodukovaných domovním kotlem oproti spalovně je předvedeno na emisním faktoru (EF) PCDD/F. EF je empiricky stanovená veličina, která vyjadřuje střední množství sledované škodliviny vztažené na hmotnost spáleného paliva (např. $\mu g \text{ TEQ/t} = ng \text{ TEQ/kg}$) nebo výhřevnost paliva (např. $ng \text{ TEQ/GJ} = \mu g \text{ TEQ/TJ}$). EF je ovlivněn konstrukcí malého spalovacího zařízení (MSZ), parametry paliva (obsahem Cl v palivu) (viz tabulka 4.7) a provozními podmínkami [44, 69]. Obsah PCDD/F je vyjadřován pomocí toxického ekvivalentu (TEQ), což je suma součinů množství jednotlivých toxických izomerů a jejich toxických ekvivalentních faktorů [44].

Typ zařízení	Hnědé uhlí	Černé uhlí	Dřevo
Prohořivací kotel	1,15	4,4	0,182
Odhořivací kotel	0,322	10,7	0,387
Automatický kotel	0,074	71,5	12,1
Zplyňovací kotel	-	-	0,070
Krbová kamna	-	-	0,159

Tab. 4.7 Měrné emise PCDD/F $\mu g \text{ TEQ/t}_{paliva}$ hodnoty dle zdroje VEC [44]

V tomto experimentu bylo provedeno 56 experimentálních měření emisí MSZ, pro výpočet emisí PCDD/F (připadá na jednu fiktivní obec, více níže). Byly zde použity tři sady EF (ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav, EEA – European Environment Agency a VEC – Výzkumné energetické centrum, VŠB-TU Ostrava) viz tabulka 4.8. Hodnoty uvedené ve sloupci VEC reprezentují vážený průměr, který pro dané palivo zohledňuje skladbu používaných kotlů [69].

	emisní faktory PCDD/F pro jednotlivá paliva dle různých zdrojů ($\mu\text{g}/\text{t}_{\text{paliva}}$)		
	ČHMÚ	EEA	VEC
Hnědé uhlí	6,0	14,4	0,766
Černé uhlí	4,0	20,4	10,5
Dřevo	5,0	10,2	0,368

Tab. 4.8 Emisní faktory PCDD/F pro jednotlivá paliva dle různých informačních zdrojů [44, 69]

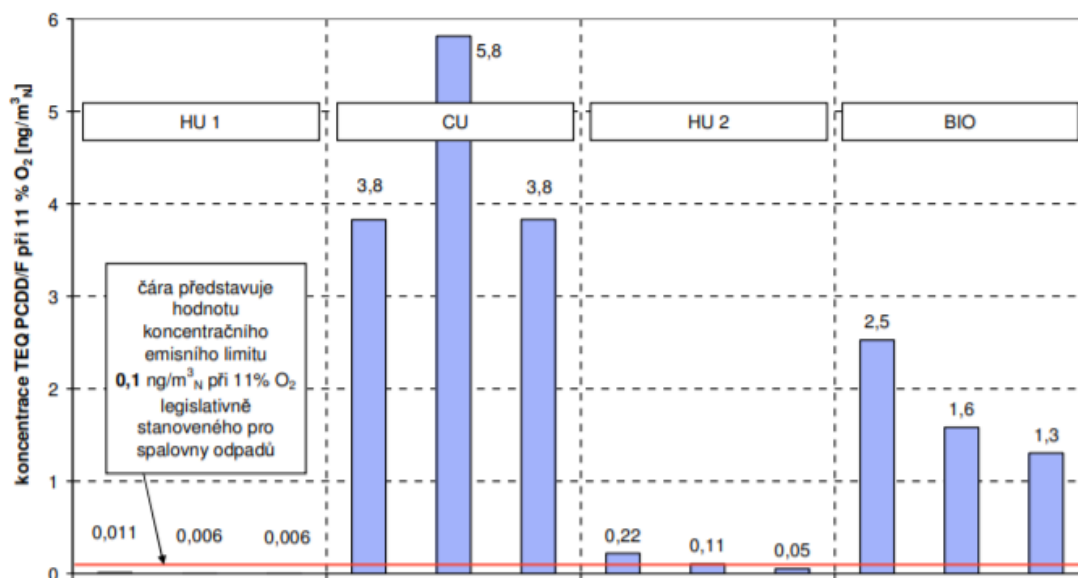
Ve spalovnách komunálního odpadu je roční produkce PCDD/F zaznamenávána díky pravidelným jednorázovým měření realizovaných na daném zdroji znečišťování ovzduší. Z výsledků těchto měření a dostupných hodnot množství spáleného odpadu, lze vypočítat měrné emise vyprodukované spalovnou za rok. Výsledky bilance emisí PCDD/F z největších spaloven komunálního odpadu v ČR jsou uvedeny v tabulce 4.9. Tři největší spalovny v roce 2009 vyprodukovaly 40 mg TEQ PCDD/F [69].

	množství spáleného odpadu ($\text{t}_{\text{odpadu}}/\text{rok}$)		roční emise PCDD/F ($\text{mg TEQ}/\text{rok}$)		vypočtený emisní faktor PCDD/F dle bilance ($\mu\text{g TEQ}/\text{t}_{\text{odpadu}}$)	
	v roce 2007	v roce 2009	v roce 2007	v roce 2009	v roce 2007	v roce 2009
Pražské služby, a. s., spalovna Malešice	213 387	208 225	70,0	18,0	0,328	0,086
Sako Brno, a. s.	86 029	54 601	7,7	4,3	0,090	0,079
Termizo, a. s., Liberec	91 165	96 810	15,0	18,1	0,165	0,187
Suma (průměr)	390 581	359 636	92,7	40,4	(0,194)	(0,117)

Tab. 4.9 Roční produkce PCDD/F ze tří největších spaloven komunálního odpadu v ČR [69]

Z tabulky 4.8 je patrné, že při spalování černého uhlí vzniká mnohem více PCDD/F než při spalování hnědého uhlí a dřeva. Při porovnání tabulky 4.8 a 4.9 je zřejmé, že emisní faktory (kromě VEC pro dřevo) jsou u kotlů o jeden až dva řády vyšší než u spaloven. Hodnoty VEC byly naměřeny při spalování kvalitních tuhých paliv (tříděné černé a hnědé uhlí a suché dřevo) v kotlích při podmínkách blízkým jmenovitému výkonu. Spalování při nižším výkonu nebo spalování odpadu by měl EF mnohem vyšší hodnotu [69].

Ohlašovací práh pro PCDD/F je 100mg TEQ PCDD/F za rok [69]. Porovnání této hranice s emisemi, které vyprodukuje automatický kotel je zobrazeno v grafu 4.4. Pro prohořivací a odhořivací kotle a při spalování domovního odpadu by emise byly mnohem vyšší než při spalování vhodného paliva.



Graf 4.4 Stanovené koncentrace TEQ PCDD/F na automatickém kotli při spalování různých typů paliv a srovnání s limitní koncentrací legislativně stanovenou pro spalovny odpadů [21]

Tato část je zaměřena na porovnání fiktivní obce oproti spalovně. Předpoklady jedné fiktivní obce vytápěné tuhými palivy jsou uvedeny ve zdroji [69] na straně 2. Pro potřeby vytápění této obce byly vypočteny hodnoty hypotetické spotřeby jednotlivých paliv. V kombinaci s emisními faktory v tabulce 4.8 byly vypočteny hodnoty emisí PCDD/F, které mohou vznikat při vytápění jedné fiktivní obce. Finální hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.10. Každý řádek tedy představuje množství PCDD/F, které by bylo emitováno komíny dané vesnice, pokud by byla vytápěna daným palivem. Ve sloupcích pak vidíme odlišnost emisí pro každé palivo pro konkrétní informační zdroj (ČHMÚ, EEA, VEC) [69].

	roční emise dioxinů z vytápění průměrné obce (2000 ob.) pro jednotlivá paliva v mg TEQ/rok		
	ČHMÚ	EEA	VEC
Hnědé uhlí	25	60	3
Černé uhlí	12	60	31
Dřevo	26	52	2

Tab. 4.10 Roční emise PCDD/F z vytápění průměrné hypotetické obce pro jednotlivá paliva dle různých výpočtů [69]

4.3.4 Dílčí závěr

Tři velké spalovny odpadů spálily v roce 2009 skoro 360 tis. tun odpadů a přitom vypustily ve palinách do ovzduší cca 40 mg emisí PCDD/F (jako TEQ). Jedna průměrná fiktivní obec, vytápěná tuhými palivy, emituje za topnou sezónu ve spalínách do ovzduší cca 2 až 60 mg PCDD/F (jako TEQ). Z těchto hodnot vyplývá, že fiktivní obec se 2000 obyvateli má předpoklad emitovat podobné množství PCDD/F jako jedna spalovna odpadů za rok. Hmotnost odpadu spáleného ve spalovně je nepřiměřeně vyšší než hmotnost paliva spáleného v průměrné

fiktivní obci v domovních kotlech. Je zřejmé, že kvalita spalování odpadu ve spalovně ($0,12 \mu\text{g TEQ/t}_{\text{odpadu}}$) je násobně vyšší než kvalita spalování kvalitního paliva v malých spalovacích zařízeních ($0,37 \div 20 \mu\text{g TEQ/t}_{\text{paliva}}$) [69].

ZÁVĚR

Cílem práce bylo zjistit a zhodnotit nebezpečí spalování odpadů v domovních kotlech.

Z dostupných výsledků, které byly v této práci popsány, vyplývá, že i při spalování paliva v domovním kotli je tvorba škodlivých látek mnohem vyšší než ve spalovnách odpadů. Vliv na tvorbu emisí má typ teplovodního kotle, druh paliva a podmínky spalovacího procesu. Hlavními faktory, které ovlivňují spalovací proces, jsou dostatečná teplota spalin, vhodné míchání vzduchu a dostatečná doba zdržení v těchto podmínkách.

Roční hodnoty emisí, které byly publikované výše, vyprodukované jednou fiktivní obcí s 2000 obyvateli, která topí fosilními palivy, byly porovnány s průměrem ze tří největších spaloven odpadů. Výsledky prokazatelně ukazují, že obec je schopná do ovzduší vyprodukovat stejné ne-li větší množství emisí.

V domovních kotlích dochází k nedokonalému spalování a nedokonalému (spíše žádnému) čištění spalin, a následně vznikají již zmíněné vyšší emisní hodnoty. Pokud je do kotle přidán ještě domovní odpad v podobě plastů, textilií, pryže nebo chemicky ošetřeného dřeva, předpokládám, že hodnoty emisí se zvýší i 100krát v porovnání se spalováním vhodného paliva. Domovní odpad obsahuje mnohem větší množství znečišťujících látek, zejména Cl a aromatické uhlovodíky. Tyto látky jsou základem pro polycyklické aromatické uhlovodíky, dioxiny a furany a další polutanty. Výsledné hodnoty emisí spalování domovního odpadu dosud nebyly publikovány, pracuje se na nich ve výzkumném energetickém centru VŠB-TUO. Vlastní experiment nakonec nebyl proveden kvůli nedostatku času a prostoru na zkušebně v důsledku omezení provozu FSI v době karanténního opatření.

Tato práce má přinést osvětu i široké veřejnosti, že spalovat domovní odpad v kotli je nebezpečné. Emise, které unikají z komína, se usazují v nejbližším okolí. Znečišťující látky mohou způsobit lidskému organismu různá závažná onemocnění jako jsou nádorová onemocnění plic, trávicího traktu a kůže, ovlivňuje také funkci některých orgánů (játra, ledviny...), poškozují nervový, imunitní, reprodukční i kardiovaskulární systém. U žen v graviditě je velké riziko intoxikace nenarozeného lidského plodu. Při dlouhodobém vystavení organismu vysokým dávkám škodlivých látek nebo při extrémní akutní intoxikaci může dojít k trvalému poškození zdraví jedince.

Z výše uvedených výsledků je zřejmé, že množství škodlivin ze spalování unikající do atmosféry je ovlivněno typem a stářím kotle. Z těchto důvodů se vyplatí investovat do modernějšího typu kotle (zplyňovací, automatický) na tuhá paliva, který splňuje podmínky dle EKODESIGN. Je důležité spalovat pouze vhodné palivo a nespalovat domovní odpad, který je možné odložit do sběrných dvorů. Odpad je zde sice možné zdarma odložit (poplatek je obsažen v ceně za komunální odpady), ale člověk je líný tvor a také samotná cesta už zadarmo není. Otázkou tedy zůstává, zda se místo naložení a odvezení odpadu občan raději neuchýlí ke spálení v kotli. Za předpokladu dodržení těchto dvou kroků může nastat podstatná eliminace škodlivin vypouštěných do ovzduší z malých spalovacích zařízení. I přes tyto informace ve společnosti zřejmě existují lidé, kteří spalují jakékoliv materiály, aniž by si uvědomovali následky.

SEZNAM ZDROJŮ

- [1] *Studijní opory Mendelu: Odpadové hospodářství* [online]. [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=1462
- [2] Ministerstvo životního prostředí: *Odpadové hospodářství* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/odpadove_hospodarstvi
- [3] Zákon č. 185/2001 Sb. O odpadech a o změně některých dalších zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/8FC3E5C15334AB9DC125727B00339581/\\$file/Z%20185_2001.pdf](http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/8FC3E5C15334AB9DC125727B00339581/$file/Z%20185_2001.pdf)
- [4] *Magistrát města Plzeň: Návoslovi odpadů* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://odpady.plzen.eu/encyklopedie/navoslovi-odpadu/navoslovi-odpadu.aspx>
- [5] *Ekologické centrum Most pro Krušnohoří: Druhy odpadů* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <http://www.ecmost.cz/odpady.php>
- [6] *Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí: Komunální odpad* [online]. [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <http://www.komunalniopad.eu/?str=skladba>
- [7] Výroční shrnutí 2017. *EKO-KOM, a.s.* [online]. Praha 4 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Obecne/Ekokom_VyrocnShrnuti2017_blur_PREVIEW.pdf
- [8] *Český statistický úřad* [online]. 2019 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt-vyhledavani&vyhl-text=produkce+odpad%C5%AF&bkvt=cHJvZHVrY2Ugb2RwYWwTFrw..&katalog=all&pvo=ZPR05>
- [9] ČSÚ vydal informace o produkci, využití a odstranění odpadu a produkci druhotných surovin za rok 2018. *Česká asociace odpadového hospodářství* [online]. 3.11.2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <http://www.caoh.cz/odborne-clanky-a-aktuality/csu-vydal-informace-o-produkci-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-a-produkci-druhotnych-surovin-za-rok.html>
- [10] *Český statistický úřad* [online]. 2019 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-2018>
- [11] *Ministerstvo životního prostředí: ČR nechce být skládkovací velmocí* [online]. 2016 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_160505_zakon_odpady
- [12] *Ministerstvo životního prostředí: Česko čeká velká odpadková revoluce* [online]. 2019 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_20191207_cesko_ceka_velka_odpadkova_revoluce_vlada_dnes_schvalila_novou_odpadovou_legislativu

- [13] *Ekologické centrum Most pro Krušnohoří: Nakládání s odpady* [online]. [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: http://www.ecmost.cz/odpady.php?page=nakladani_odpad
- [14] *Česká asociace odpadového hospodářství: Co vlastně podle Vašeho názoru znamená „recyklace“?* [online]. 2019 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <http://www.caoh.cz/odborne-clanky-a-aktuality/co-vlastne-podle-vaseho-nazoru-znamená-recyklace.html>
- [15] *Prezentace: polutanty* [online]. 2015 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1441/podzim2015/SZ7BK_BiEV/POLUTANTY.pdf
- [16] *Agonomická fakulta: POŠKOZENÍ ROSTLIN POLUTANTY V OVZDUŠÍ* [online]. [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_sklad/frvs/hrudova/index_soubory/Page2836.htm
- [17] Znečištění ovzduší. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikipedia Foundation, 2001- [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Zne%C4%8Di%C5%A1t%C4%9Bn%C3%AD_ovzdu%C5%A1%C3%AD
- [18] LOUČKA, Tomáš. *Učební text: Chemie životního prostředí* [online]. Inovace k 30. 1. 2013 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/chemie_zp/Skripta_CHZP-casst_1.pdf
- [19] PETRŮV, Josef. *Oxid uhelnatý – tichý zabiják* [online]. 03.06. 201 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <http://toxicology.cz/modules.php?name=News&file=article&sid=784>
- [20] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Třetí. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2019. ISBN 978-80-214-5769-0.
- [21] HOPAN, František. *Emisní faktory ze spalování tuhých paliv ve spalovacích zařízeních malých výkonů*. Ostrava, 2010. Disertační. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce prof. Ing. Pavel Noskiewicz, CSc.
- [22] JOPKOVÁ, Miroslava a Petr VÁLEK. Selen. *Arnika* [online]. [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://arnika.org/selen>
- [23] HAVEL, Milan a Petr VÁLEK. Oxid uhelnatý. *Arnika* [online]. [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://arnika.org/oxid-uhelnaty>
- [24] POPL, M., FÄHNRIK, J. *Analytická chemie životního prostředí*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999. ISBN 80-7080-336-3.
- [25] Sulfur dioxide. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikipedia Foundation, 2001- [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur_dioxide
- [26] *VZNIK A SNIŽOVÁNÍ EMISÍ NOX*. Brno, 2008. Bakalářská. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Petr Chlápek.

- [27] SKEŘIL, Robert. Oxidy dusíku – odkud se berou. In: *Blog o ovzduší v Brně a Jihomoravském kraji* [online]. 8.3.2018 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <http://www.ovzdusi-brno-jm.cz/index.php/2018/03/08/oxidy-dusiku-odkud-se-berou/>
- [28] HODBOŘ, Josef. Přepočet emisí oxidů dusíku NO_x ze spalování zemního plynu na zvolenou jednotku. In: *TZB-info* [online]. 10.5.2018 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://vytapieni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/17338-prepocet-emisi-oxidu-dusiku-nox-ze-spalovani-zemniho-plynu-na-zvolenou-jednotku>
- [29] Oxidy dusíku. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.irz.cz/repository/latky/oxidy_dusiku.pdf
- [30] KARÁSEK, Filip. *Distribuce vybraných toxických prvků při spalování odpadu* [online]. Ostrava, 2010 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: http://dspace5.vsb.cz/bitstream/handle/10084/82519/KAR200_HGF_N2102_3904T005_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Jiří Fiedor, PhD.
- [31] Těžké kovy. *Arnika* [online]. [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://arnika.org/tezke-kovy-2>
- [32] Chrom a jeho sloučeniny. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.irz.cz/repository/latky/chrom_a_jeho_slouceniny.pdf
- [33] Rtuť. In: *Arnika* [online]. [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://arnika.org/rtut>
- [34] VÁVROVÁ, Zuzana. *Návrh zkušebního zařízení pro výzkum emisí rtuti ze spalování uhlí*. Ostrava, 2015. Diplomová. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Bohumír Čech
- [35] MARNANE, Ian. Rtuť: přetrvávající hrozba pro životní prostředí a lidské zdraví. In: *Evropská agentura pro životní prostředí* [online]. 8.11.2018 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/articles/rtut-pretrvavajici-hrozba-pro-zivotni>
- [36] STACH, Martin, Zdeněk KLIKA a Lucie BARTOŇOVÁ. *Distribuce a zachytávání rtuti při spalování pevných paliv* [online]. Ostrava, 2005 [cit. 2020-06-09]. ISSN 0474-8476. Dostupné z: <http://gse.vsb.cz/2005/LI-2005-2-27-42.pdf>
- [37] ŠTEFANIDESOVÁ, Vlasta, Zdeněk LACNÝ a Hana OTOUPALÍKOVÁ. Ohrozí rtuť naše zdraví? In: *ODPADY* [online]. 20.7.2005 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.odpady-online.cz/ohrozi-rtut-nase-zdravi/>
- [38] VALOVÁ, Markéta. *Spalování odpad s obsahem rtuti*. Ostrava, 2013. Diplomová. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Miluše Hlavatá, Ph.D.
- [39] BODNÁROVÁ, Růžena. *Rtuť jako rizikový faktor v životním prostředí*. Most, 2009. Bakalářská. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Mgr. Eva Pertile, Ph.D.
- [40] BARYBINA, Alina. *Návrh zařízení pro snížení emisí tuhých znečišťujících látek* [online]. Brno, 2019 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z:

<https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/180678/final-thesis.pdf?sequence=10&isAllowed=y>. Bakalářská. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.

[41] Základní fakta o aerosolech. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 7.4.2014 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/standardizace/normalizace-zkusebnictvi-a-akreditace/zakladni-fakta-o-aerosolech--148105/>

[42] *Brožura: Persistentní organické polutanty* [online]. červen 2001 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/A0750BCC7925B390C1256FAF0048ADF9/\\$file/chlatky1.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/A0750BCC7925B390C1256FAF0048ADF9/$file/chlatky1.pdf)

[43] HAVEL, Milan a Petr VÁLEK. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs). *Arnika* [online]. [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://arnika.org/polycyklicke-aromaticke-uhlovodiky-pahs>

[44] HORÁK, Jiří, František HOPAN, Michal ŠYC, Pavel MACHÁLEK, Kamil KRPEC, Tomáš OCELKA a Tomáš TOMŠEJ. Bilance emisí znečišťujících látek z malých zdrojů znečišťování se zaměřením na spalování tuhých paliv. *Chemické listy* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011_11_851-855.pdf

[45] PETRLÍK, Jindřich a Petr VÁLEK. Dioxiny (PCDD/PCDF). *Arnika* [online]. [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://arnika.org/dioxiny-pcdd-pcdf>

[46] Čím PVC škodí? *Arnika* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://arnika.org/procesi-nehrat-s-pvc>

[47] HOPAN, František. Porovnání emisí benzo[a]pyrenu z jednotlivých kategorií zdrojů. In: *TZB-info* [online]. 12.3.2018 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/17074-porovnani-emisi-benzo-a-pyrenu-z-jednotlivych-kategori-zdroju>

[48] *SIEGEL kontejnery: Jak fungují spalovny odpadu* [online]. 2016 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.siegl.cz/blog/likvidace/jak-funguji-spalovny-odpadu-a-kde-je-v-cr-na-jdete>

[49] *SAKO Brno* [online]. [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/pro-brnaky/cz/801/energeticke-vyuziti-odpadu/>

[50] Vyhláška o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší 415/2012 Sb.: ze dne 21. listopadu 2012. Dostupné také z: https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/AE682A6B5E42E986C1257BA60025D8B5/%24file/V%20415_2012.pdf

[51] Spalovna ZEVO – aktuální emise. In: *Pražské služby* [online]. [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://www.psas.cz/aktualni-emise-zevo>

- [52] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 75/2010, o průmyslových emisích (integrované prevenci a omezení znečištění), ze dne 24. listopadu 2010. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/cs/TXT/?uri=CELEX:32010L0075>
- [53] SAKO Brno, a.s. Dostupné z: <https://www.sako.cz/upload/1444914938.pdf>
- [54] LYČKA, Zdeněk. Jak vybírat nový kotel na pevná paliva. In: *TZB-info* [online]. 22.4.2013 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9798-jak-vybirat-novy-kotel-na-pevna-paliva-1>
- [55] *Komfort kotlů na tuhá/pevná paliva – část I.: Jak dlouho vydrží teplo z jednoho přiložení či nabitě akumulární nádoby?* [online]. 26.3.2018 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/17137-komfort-kotlu-na-tuha-pevna-paliva-cast-i>
- [56] HORÁK, Jiří, Petr KUBESA, František HOPAN a Kamil KRPEC. Co nejvíce ovlivní Tvůj kouř? In: *TZB-info* [online]. 14.1.2013 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9475-co-nejvice-ovlivni-tvuj-kour>
- [57] NOSKIEVIČ, Pavel, Jan KOLONIČNÝ a Tadeáš OCHODEK. *Malé zdroje znečišťování* [online]. Ostrava, 2004 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/4215.pdf>. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Výzkumné energetické centrum.
- [58] VLČKOVÁ, Lucia, ed. *Sborník XX. výroční konference české aerosolové společnosti: ORGANICKÉ SLOUČENINY A MARKERY ZE SPALOVÁNÍ UHLÍ V RŮZNÝCH TYPECH KOTLŮ POUŽÍVANÝCH PRO VYTÁPĚNÍ DOMÁCNOSTÍ* [online]. Velké Bílovice: Česká aerosolová společnost, 2019 [cit. 2020-06-24]. ISBN 978-80-270-6416-8. Dostupné z: http://cas.icpf.cas.cz/download/Sbornik_VKCAS_2019.pdf
- [59] LAPISZ, Břetislav. Jak správně topit? Mokrý dřev je horší než uhlí. In: *Deník* [online]. 10.10.2011 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: https://karvinsky.denik.cz/zpravy_region/topeni-ostrava20111010-8b62.html
- [60] HORÁK, Jiří a Petr KUBESA. O spalování tuhých paliv v lokálních topeništích. In: *TZB-info* [online]. 28.5.2012 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/8644-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-2>
- [61] HORÁK, Jiří. SMOKEMANovo desatero správného topiče. In: *TZB-info* [online]. 2.3.2015 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/12373-smokemanovo-desatero-spravneho-topice>
- [62] Spalování plastů. In: *Ekolist* [online]. 2003 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/dotazy-a-odpovedi/spalovani-plastu-lze-ziskat-konkretni-udaje>
- [63] Co je PVC a proč se jím Arnika zabývá? *Arnika* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://arnika.org/pvc-2>
- [64] Co do kamen nepatří. *Arnika* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://arnika.org/co-do-kamen-nepatri>

- [65] NOSKOVÁ, Blanka. Spalování v domácnostech a jeho vliv na životní prostředí. *Arnika* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: http://arnika.org/soubory/dokumenty/ovzdusi/Ing._Blanka_Noskov.pdf
- [66] HOVORKA, Martin. *Úprava a zpracování složek nebezpečného odpadu* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: http://dspace5.vsb.cz/bitstream/handle/10084/92739/HOV0003_HGF_B2102_3904R022_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Miluše Hlavatá, Ph. D.
- [67] VACKOVÁ, I. *Pálení odpadu způsobuje rakovinu* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.kamenny-ujezd.cz/file.php?nid=694&oid=4834488>
- [68] HORÁK, Jiří, František HOPAN, Kamil KRPEC a Petr KUBESA. Co musí splnit nový kotel na tuhá paliva po roce 2020?: Porovnání emisních požadavků pro kotle do 300 MW. In: *TZB-info* [online]. 29.6.2015 [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/12909-co-musi-splnit-novy-kotel-na-tuha-paliva-po-roce-2020>
- [69] HORÁK, Jiří, František HOPAN a Kamil KRPEC. Časopis: *Ochrana Ovzduší: Může jedna obec vyprodukovat tolik dioxinů jako velká spalovna odpadů?* VŠB-TUO, Výzkumné energetické centrum, 01/2012.